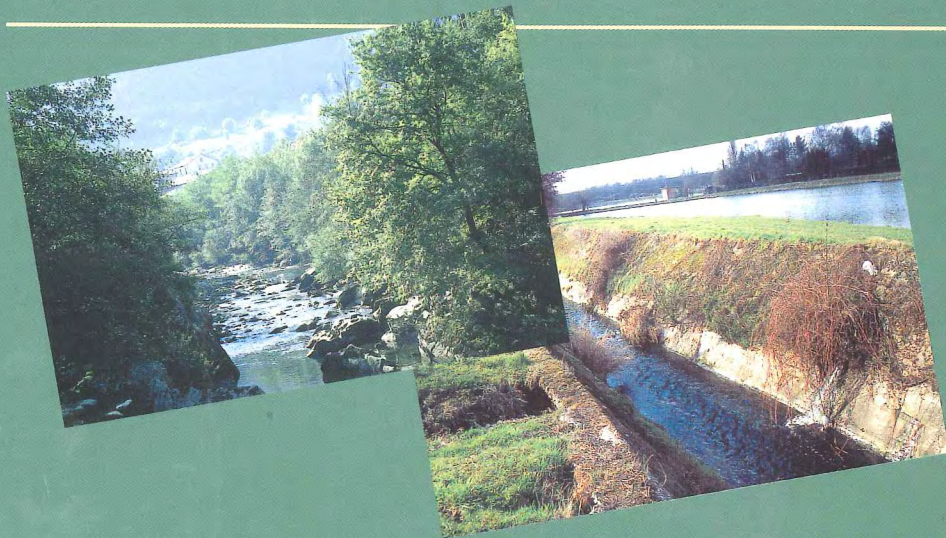
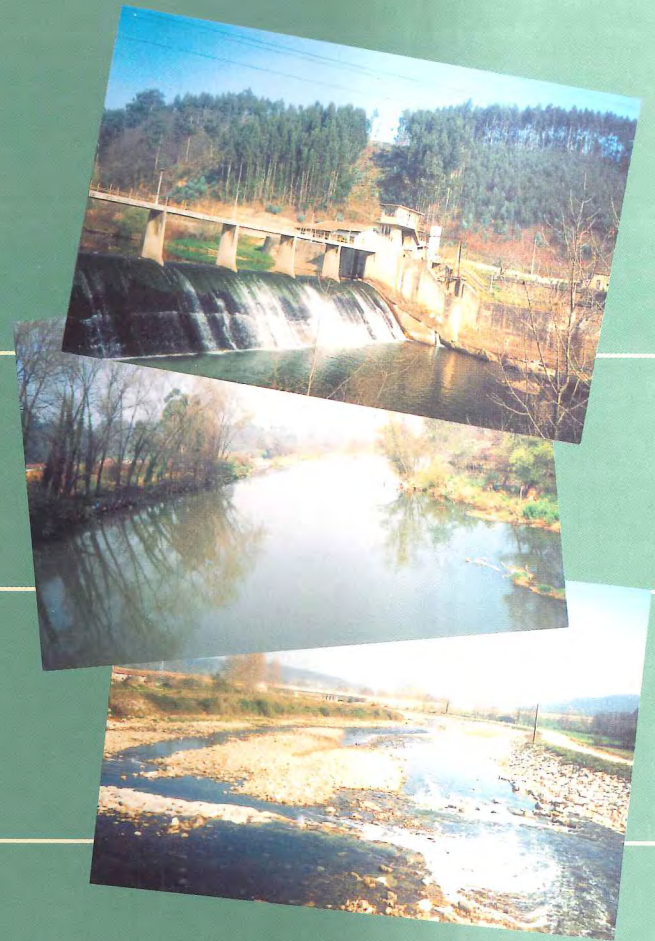


River design and environmental protection in Europe

Ordenación y protección ambiental
de ríos en Europa

Aménagement et protection
environnementale des rivières en Europe



Scientific editor/Editor científico/Éditeur scientifique:
José María de Ureña



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Project cofinanced by the Socrates-Erasmus program, European Commission
Proyecto cofinanciado por el programa Sócrates-Erasmus, Comisión Europea
Project cofinancé par le programme Socrates-Erasmus, Comision Européenne

UC

**PLANNING OF THE RIVER OURTHE
IN WALONIA, BELGIUM**

**LA ORDENACIÓN DEL RÍO OURTHE
EN VALONIA, BÉLGICA**

**L'AMÉNAGEMENT DE L'OURTHE
EN WALONIE, BELGIQUE**

- F. Petit
- M. Piroton
- J. C. Philippart
- A. Lejeune

Université de Liege

1. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE RIVER

- 1.1. NATURAL CHARACTERISTICS
 - 1.1.1. The catchment areas and climate
 - 1.1.2. Description of the course of the Ourthe
 - 1.1.3. Tendencies at present of natural change
- 1.2. PRESENT LEVEL OF TRANSFORMATIONS OF THE RIVERS AND WATERSHEDS
 - 1.2.1. Degree of transformation of the watershed
 - 1.2.2. The degree of transformation of the floodplain
 - 1.2.3. Degree of transformation of the low flow channel and the riverbanks
- 1.3. PRESURES ON THE RIVERS
 - 1.3.1. Drainage and channelisation
 - 1.3.2. Dams
 - 1.3.3. Localised and diffuse pollution
 - 1.3.4. Fisheries
- 1.4. THE PUBLICS PERCEPTION OF THE RIVERS
- 1.5. EXISTING DATA ON THE WATER COURSE AND FLOODPLAINS
 - 1.5.1. Discharge and velocities in the channel and the floodplain
 - 1.5.2. Flow of sediments
 - 1.5.3. Delimitation and construction of the floodplain
 - 1.5.4. Inventory of flora and fauna
 - 1.5.5. Water quality
 - 1.5.6. Water use
 - 1.5.7. Existence of GIS in the basin

2. ORGANISATIONAL CONTEXT

- 2.1. LEGAL CONTEXT
 - 2.1.1. Laws
 - 2.1.2. Recommendation: river contracts
- 2.2. AGENCIES
 - 2.2.1. Specific agencies
 - 2.2.2. Relations between river and land use planning agencies
 - 2.2.3. Relations between river and nature conservation agencies
 - 2.2.4. Rivers shared between several agencies
- 2.3. MANAGEMENT MEASURES
 - 2.3.1. In view of reducing the significance of flooding
 - 2.3.2. To restore the rivers
 - 2.3.3. Land acquisition
 - 2.3.4. Authorised developments in the river flooding areas
- 2.4. PLANNING
 - 2.4.1. Flood control
 - 2.4.2. Purification of sewage water
 - 2.4.3. Restoration of free fish migration routes
- 2.5. PUBLIC PARTICIPATION

3. MODES OF ACTION ON THE RIVER

- 3.1. OBJECTIVES
 - 3.1.1. Flood control
 - 3.1.2. Improvement of water quality
 - 3.1.3. Straightening and protection of banks
 - 3.1.4. Improvement of aquatic and riparian habitats
 - 3.1.5. Restoration
 - 3.1.6. Preservation of historic sites
- 3.2. TECHNIQUES USED
 - 3.2.1. Description
 - 3.2.2. Structural and non-structural techniques
 - 3.2.3. Materials used in structural actions
 - 3.2.4. Works during recent years
- 3.3. ASPECTS OF THE PROJECTS
 - 3.3.1. How the rivers and their territories are considered
 - 3.3.2. Time scale for analysis, implementation and maintenance
 - 3.3.3. What is the design process?
 - 3.3.4. Scientific considerations in the projects
- 3.4. EVALUATION PROCEDURES
 - 3.4.1. Evaluation techniques
 - 3.4.2. Evaluation criteria

4. CONCLUSIONS

- 4.1. MATERIAL CONSEQUENCES OF OPERATIONS ON THE RIVERS
- 4.2. LIMITATIONS OF OPERATIONS ON THE RIVERS
- 4.3. RIVER RESTORATION OPERATIONS

BIBLIOGRAPHY

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL RÍO

- 1.1. CARACTERÍSTICAS NATURALES
 - 1.1.1. Cuenca y clima
 - 1.1.2. Descripción del curso del Ourthe
 - 1.1.3. Tendencia natural actual de cambio
- 1.2. NIVEL ACTUAL DE TRANSFORMACIÓN DE LOS RÍOS Y DE SUS CUENCAS
 - 1.2.1. Grado de transformación de la cuenca
 - 1.2.2. Grado de transformación de la llanura aluvial
 - 1.2.3. Grado de transformación del lecho menor y de las márgenes
- 1.3. PRESIONES SOBRE LOS RÍOS
 - 1.3.1. Drenaje y canalización
 - 1.3.2. Presas
 - 1.3.3. Contaminación puntual y difusa
 - 1.3.4. Pesquerías
- 1.4. PERCEPCIÓN DE LOS RÍOS POR LA OPINIÓN PÚBLICA
- 1.5. DATOS EXISTENTES SOBRE LOS RÍOS Y LAS LLANURAS DE INUNDACIÓN
 - 1.5.1. Caudales y velocidades en los lechos menores y en las llanuras de inundación
 - 1.5.2. Flujo de sedimentos
 - 1.5.3. Delimitación y formación de la llanura aluvial
 - 1.5.4. Inventario de fauna y flora
 - 1.5.5. Calidad del agua
 - 1.5.6. Usos del agua
 - 1.5.7. Existencia de GIS en la cuenca

2. MARCO ORGANIZATIVO

- 2.1. MARCO LEGISLATIVO
 - 2.1.1. Leyes
 - 2.1.2. Recomendación: Los contratos de río
- 2.2. ORGANISMOS
 - 2.2.1. Organismos específicos
 - 2.2.2. Relación entre los Organismos de río y los de ordenación del territorio
 - 2.2.3. Relación entre los Organismos de río y los de conservación de la naturaleza
 - 2.2.4. Ríos dependientes de varios Organismos
- 2.3. MEDIDAS DE GESTIÓN
 - 2.3.1. Para reducir la importancia de las inundaciones
 - 2.3.2. Para la restauración de ríos
 - 2.3.3. Compra de terrenos
 - 2.3.4. Desarrollos autorizados en las zonas fluviales inundables
- 2.4. PLANIFICACIÓN
 - 2.4.1. Lucha contra las inundaciones
 - 2.4.2. Depuración de las aguas residuales
 - 2.4.3. Restablecimiento de la libre circulación de peces
- 2.5. PARTICIPACIÓN PÚBLICA

3. ACTUACIONES EN EL RÍO

- 3.1. OBJETIVOS
 - 3.1.1. Control de las inundaciones
 - 3.1.2. Mejora de la calidad del agua
 - 3.1.3. Rectificación y protección de márgenes
 - 3.1.4. Mejora de los hábitats acuáticos y riparios
 - 3.1.5. Restauración
 - 3.1.6. Protección de lugares históricos
- 3.2. TÉCNICAS UTILIZADAS
 - 3.2.1. Descripción
 - 3.2.2. Técnicas estructurales y no estructurales
 - 3.2.3. Materiales utilizados en las actuaciones estructurales
 - 3.2.4. Intervenciones durante los últimos años
- 3.3. ASPECTOS DE LOS PROYECTOS DE INTERVENCIÓN
 - 3.3.1. Cómo se consideran los ríos y su territorio
 - 3.3.2. Escala temporal para el análisis, la ejecución del proyecto y el mantenimiento
 - 3.3.3. ¿Cuál es el proceso de diseño?
 - 3.3.4. Toma en consideración de los aspectos científicos en los proyectos
- 3.4. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN
 - 3.4.1. Técnicas de evaluación
 - 3.4.2. Criterios de evaluación

4. CONCLUSIONES

- 4.1. CONSECUENCIAS MATERIALES DE LAS ACTUACIONES EN LOS RÍOS
- 4.2. LIMITACIONES DE LAS ACTUACIONES EN LOS RÍOS
- 4.3. ACTUACIONES DE RESTAURACIÓN DEL RÍO

BIBLIOGRAFÍA

1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA RIVIÈRE

- 1.1. CARACTÈRES NATURELS
 - 1.1.1. Bassin versant et climat
 - 1.1.2. Description du cours de l'Ourthe
 - 1.1.3. Tendence actuelle de changement naturel
- 1.2. NIVEAU ACTUEL DE TRANSFORMATION DES RIVIERES ET BASSINS VERSANTS
 - 1.2.1. Degré de transformation du bassin versant
 - 1.2.2. Degré de transformation de la plaine alluviale
 - 1.2.3. Degré de transformation du lit mineur et des berges
- 1.3. CONTRAINTES SUR LES RIVIERES
 - 1.3.1. Drainage et chenalisation
 - 1.3.2. Barrages
 - 1.3.3. Pollution ponctuelle et diffuse
 - 1.3.4. Pêcheries
- 1.4. PERCEPTION DES RIVIERES PAR L'OPINION PUBLIQUE
- 1.5. DONNEES EXISTANTES SUR LES COURS D'EAU ET LES PLAINES ALLUVIALES
 - 1.5.1. Débits et vitesses dans les lits mineurs et les plaines alluviales
 - 1.5.2. Flux des sédiments
 - 1.5.3. Délimitation et édification de la plaine alluviale
 - 1.5.4. Inventaire de la faune et de la flore
 - 1.5.5. Qualité de l'eau
 - 1.5.6. Usages de l'eau
 - 1.5.7. Existence de GIS dans le bassin

2. CONTEXTE ORGANISATIONNEL

- 2.1. CONTEXTE LEGAL
 - 2.1.1. Lois
 - 2.1.2. Recommandation: Les contrats de rivière
- 2.2. AGENCES
 - 2.2.1. Agences spécifiques
 - 2.2.2. Relations agences rivière et aménagement du territoire
 - 2.2.3. Relation agences de rivière et conservation de la nature
 - 2.2.4. Rivières à cheval sur plusieurs agences
- 2.3. MESURES DE GESTION
 - 2.3.1. En vue de réduire l'importance des inondations
 - 2.3.2. Pour restaurer les rivières
 - 2.3.3. Acquisition de terrains
 - 2.3.4. Développements autorisés dans les zones inondables de rivière
- 2.4. PLANNING
 - 2.4.1. Lutte contre les inondations
 - 2.4.2. Epuration des eaux usées
 - 2.4.3. Rétablissement de la libre circulation des poissons
- 2.5. PARTICIPATION DU PUBLIC

3. MODE D'ACTION SUR LA RIVIÈRE

- 3.1. OBJECTIFS
 - 3.1.1. Contrôle des inondations
 - 3.1.2. Amélioration de la qualité de l'eau
 - 3.1.3. Rectification et protection des berges
 - 3.1.4. Amélioration des habitats aquatique et ripariens
 - 3.1.5. Restauration
 - 3.1.6. Préservation des lieux historiques
- 3.2. TECHNIQUES UTILISÉES
 - 3.2.1. Description
 - 3.2.2. Techniques structurales et non structurales
 - 3.2.3. Matériaux utilisés dans les actions structurales
 - 3.2.4. Interventions au cours des dernières années
- 3.3. ASPECT DES PROJETS D'INTERVENTION
 - 3.3.1. Comment sont considérés les rivières et leur territoire
 - 3.3.2. Echelle temporelle pour l'analyse, l'exécution du projet et la maintenance
 - 3.3.3. Quel est le processus de conception?
 - 3.3.4. Prise en compte des matières scientifiques dans les projets
- 3.4. PROCEDURES D'EVALUATION
 - 3.4.1. Techniques d'évaluation
 - 3.4.2. Critères d'évaluation

4. CONCLUSIONS

- 4.1. CONSÉQUENCES MATÉRIELLES DES ACTIONS SUR LES RIVIÈRES
- 4.2. LIMITATIONS DES ACTIONS SUR LES RIVIÈRES
- 4.3. ACTIONS DE RESTAURATION DE LA RIVIÈRE

BIBLIOGRAPHIE

1. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE RIVER

1.1. NATURAL CHARACTERISTICS

1.1.1. THE CATCHMENT AREAS AND CLIMATE

Numerous studies have been carried out, in the fields of geology, geomorphology, climatology, hydrology and phytogeography, of the Ardennes and its neighbouring regions, which comprise most of the Ourthe basin (Asselberghs, 1946; Lefevre, 1956; De Bethune, 1961; Poncelet and Martin, 1947; Poncelet, 1956; Alexandre, 1956; Symoens, 1957; Vereerstraeten, 1971; Bultot, Dupriez, and Bleiman, 1972, 1973 and 1975) and most recently, a volume produced in honour of Professor Pissart has been dedicated to the physical geography of the Ardennes (in the wider sense).

In the field of hydrobiology altogether the most interesting studies are those by Huet (1941) and above all by Symoens (1957) dealing with the chemistry of the water, and Symoens (1957) dealing with aquatic flora and especially algal vegetation, Micha (1970 a and b and 1971) concerning benthic invertebrates, and Huet (1949), Huet and Timmermans (1966), Micha (1971) and Philippart (1977, 1980 and 1989) concerning fish.

As well as these scientific works, a considerable amount of information related to the Ourthe exists in the form of official statistics (hydrological and climatological, compiled by the Meteorological Institute), unpublished data produced by the Minister of Public Works (Hydrological Department and Dam Department), and current research.

■ Geography of the Basin

The Ourthe basin (3,672 km²) stretches out on the right bank of the Meuse and covers the largest part of eastern Belgium (Figure 1); it represents nearly 10% of the whole Meuse basin, of which it is the principal tributary. It contains two large structural entities (the Ardennes anticlinal and the Dinant synclinal) and weaves together the elements of geological structure, lithological associations and relief forms characteristic of six geographical areas: the Ardennes, the Fagne-Famenne

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL RÍO

1.1. CARACTERÍSTICAS NATURALES

1.1.1. CUENCA Y CLIMA

Se han realizado numerosos estudios en el ámbito de la geología, de la geomorfología, de la climatología, de la hidrología y de la fitogeografía de Las Ardenas y de las regiones limítrofes, que engloban la mayor parte de la cuenca del Ourthe (Asselberghs, 1946; Lefevre, 1956; De Bethune, 1961; Poncelet y Martin, 1947; Poncelet, 1956; Alexandre, 1956; Symoens, 1957; Vereerstraeten, 1971; Bultot, Dupriez y Bleiman, 1972, 1973 y 1975). Recientemente, como homenaje al Profesor Pissart, se ha publicado un libro relativo a la geografía física de Las Ardenas (en sentido amplio).

En hidrobiología, los estudios globales más interesantes son los de Huet (1941) y sobre todo de Symoens (1957) sobre la química del agua, de Symoens (1957) sobre la flora acuática y más especialmente sobre las algas, de Micha (1970a, b y 1971) sobre los invertebrados bénticos y de Huet (1949), Huet y Timmermans (1966), Micha (1971) y Philippart (1977, 1980 y 1984) sobre los peces.

Junto a estos trabajos científicos, existen en la actualidad un gran número de informaciones relativas al Ourthe, en forma de estadísticas oficiales (estadísticas hidrológicas y climatológicas del I.R.M.), de datos inéditos procedentes del Ministerio de Obras Públicas (Servicio Hidrológico y Servicio de Presas) y de investigaciones en curso.

■ Marco geográfico de la cuenca

La cuenca del Ourthe (3.672 km²) se sitúa en la margen derecha del Mosa y abarca la mayor parte del Este de Bélgica (Figura 1). Representa casi el 10% de la superficie de la cuenca del Mosa, del que es su principal afluente. Comprende dos grandes unidades estructurales (el anticlinal de Las Ardenas y el sinclinal de Dinant) y reúne los elementos de estructura geológica, las asociaciones litológicas y las formas de relieve características de seis regiones geográficas: Las Ardenas, la depresión

1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA RIVIÈRE

1.1. CARACTÈRES NATURELS

1.1.1. BASSIN VERSANT ET CLIMAT

De nombreuses études ont été réalisées dans le domaine de la géologie, de la géomorphologie, de la climatologie, de l'hydrologie et de la phytogéographie de l'Ardenne et des régions voisines englobant la plus grande partie du bassin de l'Ourthe (Asselberghs, 1946; Lefevre, 1956; De Bethune, 1961; Poncelet et Martin, 1947; Poncelet, 1956; Alexandre, 1956; Symoens, 1957; Vereerstraeten, 1971; Bultot, Dupriez et Bleiman, 1972, 1973 et 1975) et tout dernièrement, un volume, réalisé en l'honneur du Professeur Pissart, a été consacré à la géographie physique de l'Ardenne (au sens large).

En hydrobiologie, les études d'ensemble les plus intéressantes sont celles de Huet (1941) et surtout de Symoens (1957) pour la chimie de l'eau, de Symoens (1957) pour la flore aquatique et plus spécialement la végétation algale, de Micha (1970 a et b et 1971 a) pour les Invertébrés benthiques et de Huet (1949), Huet et Timmermans (1966) et Micha (1971) et Philippart (1977, 1980 et 1989) pour les Poissons.

A côté de ces travaux scientifiques, un nombre considérable d'informations relatives à l'Ourthe existent actuellement sous la forme de statistiques officielles (statistiques hydrologiques et climatologiques de l'I.R.M.), de données inédites provenant du Ministère des Travaux Publics (Service hydrologique et Service des barrages) et de recherches en cours.

■ Cadre géographique du bassin

Le bassin de l'Ourthe (3.672 km²) s'étend sur la rive droite de la Meuse et couvre la plus grande partie de l'est de la Belgique (Figure 1); il représente près de 10% de l'ensemble du bassin mosan, dont il est le principal constituant. Il comprend deux grandes entités structurales (l'anticlinal de l'Ardenne et le synclinal de Dinant) et réunit les éléments de structure géologique, les associations lithologiques et les formes de relief caractéristiques de six régions géographiques: l'Ardenne, la

depression, the calcareous fringe of Famenne, the Condrosz plateau, the Condrosz Ardennes and the Pays de Herve.

► The watershed

The density coefficients are 1.63, 1.40 and 1.38 respectively for the Ourthe basin at Hamoir, for the Amblève and for the Vesdre, which together represent more than 90% of the total surface area of the basin. The slope Roche indexes are respectively 0.067, 0.085 and 0.099 (Bultot *et al.*, 1972, 1973 and 1975).

The principal rocks forming the basin are represented in the following proportions: 77.3% quartzo-schisto-phyllades; 8.7% schists; 7% limestone; 6.6% sandstone, and 0.4% recent alluvial deposits.

Forests (40% deciduous and 60% coniferous) cover approximately 35% of the area of the basin; meadows and cultivated land make up 65%. (Tabla 1).

The population density in the whole of the Ardennes is less than 50 inhabitants/km². The Ourthe basin does not have strong urban concentrations, and no town of more than 10,000 inhabitants. Moreover the population tends to be concentrated in the main valleys.

► Climate

The climate of the Ourthe basin is characterised by important regional differences combined with differences in altitude. The distribution of isotherms shows that the average yearly

de Fagne-Famenne, el borde calizo de Famenne, la meseta de Condrosz, Las Ardenas Condrosz y el País de Herve.

► La cuenca

Los valores de los coeficientes de compacidad son de 1,63, 1,40 y 1,38, respectivamente, para las cuencas del Ourthe en Hamoir, del Amblève y del Vesdre, que representan en conjunto más del 90% de la superficie total de la cuenca. Los índices de pendiente de Roche son, respectivamente, de 0,067, 0,085 y 0,099 (Bultot *et al.*, 1972, 1973 y 1975).

Las principales rocas que constituyen la cuenca del Ourthe se presentan en las proporciones siguientes: 77,3% de hiladas de cuarzo-esquistos; 8,7% de esquistos; 7,0% de calizas; 6,6% de areniscas y 0,4% de aluviones modernos.

Los bosques (40% de caducifolios y 60% de coníferas) cubren aproximadamente el 35% de la superficie de la cuenca, correspondiendo el 65% restante a praderas y terrenos cultivados. (Tabla 1).

En la región de Las Ardenas, la densidad de población es inferior a 50 hab/km². La cuenca del Ourthe no presenta fuertes concentraciones urbanas, no existiendo ninguna ciudad de más de 10.000 habitantes. Por otra parte, el hábitat tiene tendencia a concentrarse en los valles principales.

► Clima

El clima de la cuenca del Ourthe se caracteriza por la existencia de variaciones regionales importantes en función de la altitud. La distribución de las isotermas muestra que la tempera-

dépression de Fagne-Famenne, la bordure calcaire de la Famenne, le plateau du Condrosz, l'Ardenne condroszienne et le Pays de Herve.

► Le bassin versant

Les coefficients de compacité valent 1,63, 1,40 et 1,38 respectivement pour les bassins de l'Ourthe à Hamoir, de l'Amblève et de la Vesdre qui représentent ensemble plus de 90% de la surface totale du bassin. Les indices de pente de Roche sont respectivement de 0,067, 0,085 et 0,099 (Bultot *et al.*, 1972, 1973 et 1975).

Les principales roches formant le bassin de l'Ourthe, sont représentées dans les proportions suivantes: 77,3% de quartzo-schisto-phyllades; 8,7% de schistes; 7,0% de calcaires; 6,6% de grès et 0,4% d'alluvions modernes.

Les forêts (40% de feuilles et 60% de conifères) couvrent environ 35% de la superficie du bassin et les prairies et terres cultivées, 65%. (Tableau 1).

La densité de population dans l'ensemble de l'Ardenne est inférieure à 50 habitants/km². Le bassin de l'Ourthe ne compte pas de fortes concentrations urbaines, et aucune ville de plus de 10.000 habitants. Par ailleurs, l'habitat a tendance à se concentrer dans les vallées principales.

► Climat

Le climat du bassin de l'Ourthe se caractérise par des variations régionales importantes en rapport avec les différences d'altitude. La distribution des isothermes montre que la tempé-

Table 1. The land use in the Ourthe basin and its principal tributaries

Tabla 1. Usos del suelo en la cuenca del Ourthe y de sus afluentes principales

Tableau 1. Affectation du sol du bassin de l'Ourthe et de ses principaux affluents

	O. Occ (A)	O. Or (B)	O.Tab (C)	Ambl (D)	Vesdre (E)
Wood					
(1) Coniferous	42 (1+2)	32	18	34	30
(2) Deciduous		6	12	4	14
(3) Meadows	36	47	70 (3+4)	62 (3+4)	56 (3+4)
(4) Cultivated land	22	15			

At figure 1: [A] station 12; [B] station 11; [C] station 8; [D] station 5; [E] station 2

temperature ranges from 9-10 °C in the outlet of the basin (alt < 100m) to less than 7 °C at certain points of the Hauts-Plateaux in the east (alt > 600 m). However the gap between the average temperature of the coldest month (January) and the warmest (July) is pretty constant at all the different stations and is of about 15 °C.

Annual rainfall ranges between a minimum of 900-1,000 mm in the Ourthe valley and a maximum of more than 1,400 mm in the eastern plateau, where the orographic effect is a determining factor (Figure 2). The average rainfall for the entire Ourthe basin (Angleur outlet, for the period 1920-1990) is 1,006 mm (Bamboneyo, 1994). Seasonal variations show a minimum in March-April (69 mm) and a maximum in Winter (95 mm in December-January) but a secondary maximum arises in Summer (91 mm in July) (Table 2). In the period 1920-1990 the yearly averages have fluctuated between a minimum of 530 mm in 1921 and a maximum of 1,361 mm in 1966.

As a result of orographic effects the average rainfall is greater in the Amblève and Vesdre basins (Table 3).

Data processing has taken place at about thirty stations located in Upper Belgium (notably in the Ourthe and the Amblève basins), in order to discover the rainfalls with the strongest intensity and their recurrence (Bultot and Dupriez, 1967, 1968, 1971, 1972, 1973, 1975).

- For decennial rainfall, a maximum clearly becomes more apparent in Hautes Fagnes, with values of 70 mm/d. In the Ardennes, values remain always greater than 50 mm/d, even 60 mm/d, although a gradient oriented from NW towards SE can be perceived. A very sharp trough is found in Fagne-Famenne with values less than 50 mm/d.
- For rainfall over fifty years, one sees again the same regional divisions, with slight differences: a maximum in Hautes-Fagnes with the rains of 90 mm/d; the NW-SE gradient persists, with values of less than 60 mm/d in Condroz and more

tura media anual pasa de 9-10 °C en el punto de desagüe de la cuenca (alt < 100 m) a menos de 7 °C en algunos puntos de las Mesetas Altas del este (alt > 600 m). No obstante, la diferencia entre la temperatura media del mes más frío (enero) y del mes más cálido (julio) es prácticamente constante en las diferentes estaciones de medida, situándose alrededor de 15 °C.

Las precipitaciones anuales varían entre un mínimo de 900-1.000 mm en el valle del Ourthe y un máximo superior a 1.400 mm en las mesetas del este, poniendo de manifiesto nuevamente la importancia de la orografía como factor determinante (Figura 2). Las precipitaciones medias sobre el conjunto de la cuenca del Ourthe (hasta Angleur, en el período 1920-1990) ascienden a 1.006 mm (Bamboneyo, 1994). Las variaciones estacionales muestran un mínimo en el período marzo-abril (69 mm) y un máximo en invierno (95 mm en diciembre y enero), existiendo asimismo un máximo relativo en verano (91 mm en julio) (Tabla 2). Durante el período 1920-1990, las precipitaciones medias anuales han fluctuado entre un valor mínimo de 530 mm en 1921 y un valor máximo de 1.361 mm en 1966.

Debido al efecto orográfico, las precipitaciones medias de las cuencas del Amblève y del Vesdre son superiores a las anteriormente indicadas (Tabla 3).

Con objeto de determinar las mayores intensidades de precipitación y sus correspondientes períodos de retorno, se han procesado los datos de una treintena de estaciones situadas en las cuencas del Ourthe y del Amblève (Bultot y Dupriez, 1967, 1968, 1971, 1972, 1973, 1975).

- Para el período de retorno de 10 años, existe un máximo claramente marcado en las Hautes-Fagnes con valores de 70 mm/día. En las Ardenas, los valores están comprendidos entre 50 mm/día y 60 mm/día, observándose la existencia de un gradiente orientado desde el NW hacia el SE. En Fagne-Famenne se observa un descenso acusado con valores inferiores a 50 mm/día.

rature moyenne annuelle passe de 9-10 °C à l'exutoire du bassin (alt < 100 m) à moins de 7 °C en certains points des Hauts-Plateaux de l'est (alt > 600 m). Toutefois, l'écart entre la température moyenne du mois le plus froid (janvier) et le plus chaud (juillet) est assez constant dans différentes stations et se situe aux environs de 15 °C.

Les précipitations annuelles varient entre un minimum de 900-1.000 mm dans la vallée de l'Ourthe et un maximum supérieur à 1.400 mm sur les plateaux de l'est, ici encore l'effet orographique est un facteur déterminant (Figure 2). Les précipitations moyennes sur l'ensemble du bassin de l'Ourthe (exutoire d'Angleur, période 1920-1990) s'élèvent à 1.006 mm (Bamboneyo, 1994). Les variations saisonnières montrent un minimum en mars-avril (69 mm) et un maximum en hiver (95 mm en décembre et janvier) mais un maxima secondaire s'individualise en été (91 mm en juillet) (Tableau 2). Au cours de la période 1920-1990, les moyennes annuelles ont fluctué entre un minimum de 530 mm en 1921 et un maximum de 1.361 mm en 1966.

Suite à l'effet orographique, les pluviosités moyennes des bassins de l'Amblève et de la Vesdre sont supérieures (Tableau 3)

Des traitements ont été effectués dans une trentaine de stations situées en Haute Belgique (notamment dans les bassins de l'Ourthe et de l'Amblève), en vue de déterminer les précipitations de forte intensité et leur récurrence (Bultot et Dupriez, 1967, 1968, 1971, 1972, 1973, 1975).

- Pour la pluie décennale, un maximum s'individualise nettement dans les Hautes-Fagnes avec des valeurs de 70 mm/j. En Ardenne, les valeurs restent toujours supérieures à 50 mm/j voire à 60 mm/j, mais on note un gradient orienté du NW vers le SE. Un creux très net se marque en Fagne-Famenne avec des valeurs inférieures à 50 mm/j.
- Pour les pluies cinquantennales, on retrouve ce même découpage régional, à quelques nuances près: un maximum

Table 2. Monthly rainfall in mm (the lower Ourthe basin, from seven rain gauge measuring stations, 1920-1990), from Bamboneyo (1995)

Tabla 2. Precipitaciones mensuales en mm (Cuenca del Ourthe inferior, a partir de siete estaciones pluviométricas, período 1920-1990), según Bamboneyo (1995)

Tableau 2. Précipitations mensuelles en mm (Bassin de l'Ourthe inférieure, à partir de sept stations pluviométriques, période 1920-1990), d'après Bamboneyo (1995)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
95.4	75.5	69.2	75.6	77.9	84.6	90.7	87.5	78.1	84.7	91.2	95.6	1,006.0

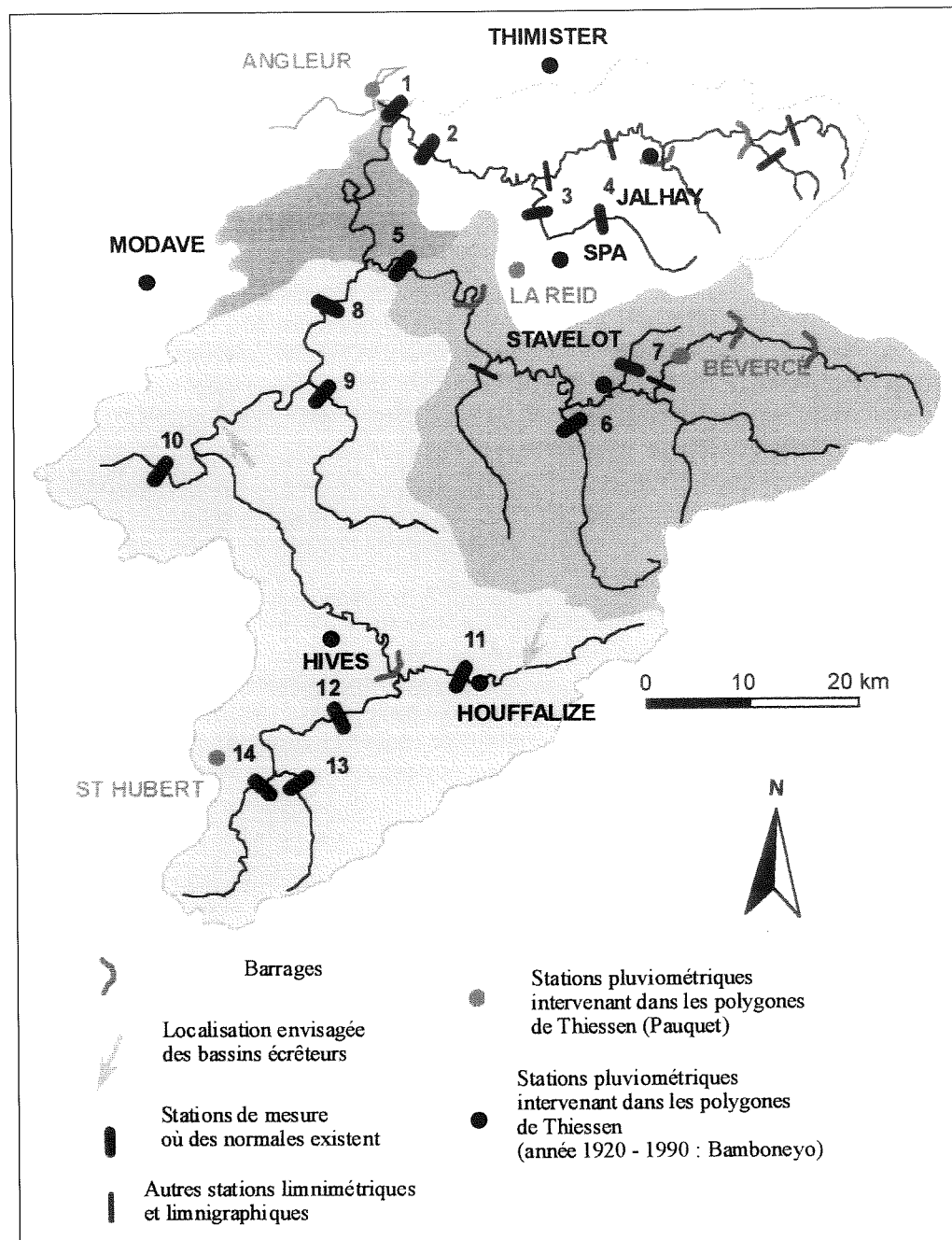


Figure 1. The Ourthe basin. Gauging stations, limit of the sub-basins

Figura 1. Cuenca del Ourthe: estaciones de aforo, límites de subcuencas

Figure 1. Bassin de l'Ourthe: stations de mesure, limite des sous-bassins

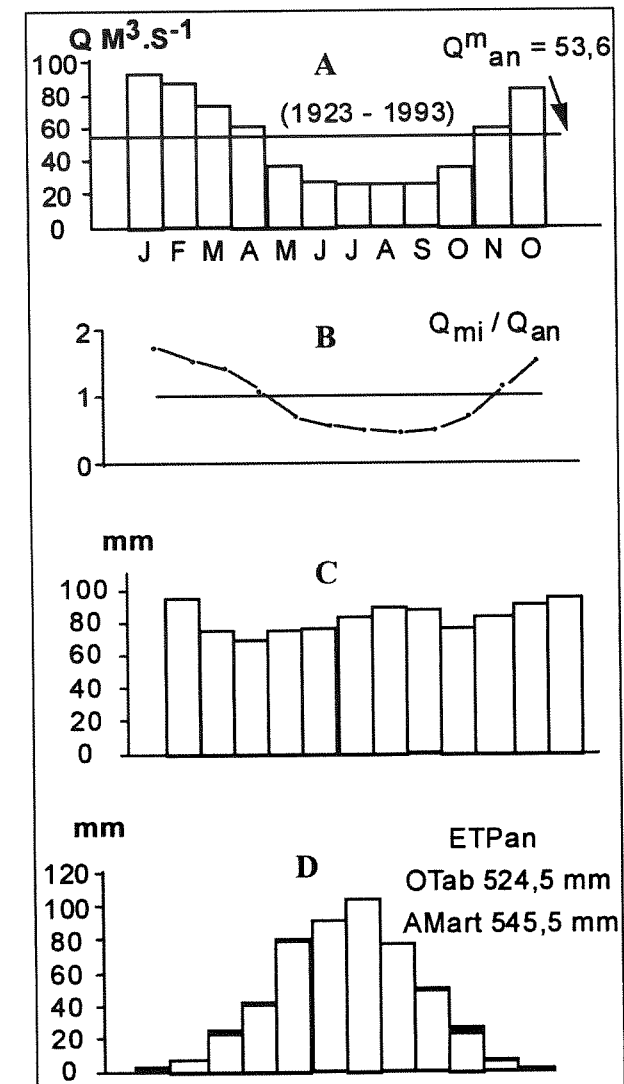


Figure 2. A. Average monthly discharge of the Ourthe at Angleur; B. Monthly discharge coefficients; C. Monthly rainfall in the Ourthe basin (1920-1990); D. Potential evapotranspiration (the Ourthe at Tabreux and the Ambève at Martinrive)

Figura 2. A. Caudal medio mensual del Ourthe en Angleur; B. Coeficiente mensual de caudales; C. Precipitaciones mensuales en la cuenca del Ourthe (período 1920-1990); D. Evapotranspiración potencial (Ourthe en Tabreux y Ambève en Martinrive)

Figure 2. A. Débit moyen mensuel de l'Ourthe à Angleur; B. Coefficient mensuel de débits; D. Précipitations mensuelles dans le bassin de l'Ourthe (période 1920-1990); D. Evapotranspiration potentielle (Ourthe à Tabreux et Ambève à Martinrive).

than 80 mm/d in the Saint Hubert region. Finally the same minimum in Fagne-Famenne is noted, but there is an intensification of rainfall in the upper Amblève.

The potential yearly evapotranspiration (estimated using the Penman method) climbs to 524.5 mm for the Ourthe basin at Tabreux and to 545.5 for the Amblève basin. The difference arises because of the higher proportion of coniferous forests in the latter basin. The monthly fluctuations of PE are given in Table 4.

1.1.2. DESCRIPTION OF THE COURSE OF THE OURTHE

The course of the upper Ourthe is formed by two rivers with their source in the Ardennes massif: the western Ourthe (53 km long) and the eastern Ourthe (46 km long). These two "Ourthe" rivers come together at the Nisramont dam to form the

• Para el período de retorno de 50 años, se observa la misma división por regiones, con algunas matizaciones: un máximo en las Hautes-Fagnes con lluvias de 90 mm/día; persiste el gradiente NW-SE, con valores de menos de 60 mm/día en el Condroz hasta más de 80 mm/día en la región de Saint Hubert. Se presenta también el mínimo de Fagne-Famenne, pero se observa una intensificación de las lluvias en la zona superior del Amblève.

La evapotranspiración potencial anual (estimada mediante el método de Penman) es de 524,5 mm para la cuenca del Ourthe en Tabreux y de 545,5 mm para la cuenca del Amblève. La diferencia se debe a la mayor proporción de especies resinosas existentes en la cuenca del Amblève. En la Tabla 4 se muestran las fluctuaciones de la ETP a nivel mensual.

1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL CURSO DEL OURTHE

El curso superior del Ourthe está formado por dos ríos que nacen en el Macizo de las Ardenas: el Ourthe occidental, cuyo curso tiene una longitud de 53 km, y el Ourthe oriental, con una longitud de 46 km (Figura 3). Los dos Ourthe se juntan en el

dans les Hautes-Fagnes avec des pluies de 90 mm/j; le gradient NW-SE persiste, avec des valeurs de moins de 60 mm/j dans le Condroz à plus de 80 mm/j dans la région de Saint Hubert. Enfin on retrouve le minimum de Fagne-Famenne, mais on note un renforcement des pluies au niveau de l'Amblève supérieure.

L'évapotranspiration potentielle annuelle (estimée par la méthode de Penman) se monte à 524,5 mm pour le bassin de l'Ourthe à Tabreux et à 545,5 mm pour le bassin de l'Amblève. La différence résulte de la plus forte proportion de résineux dans le bassin de l'Amblève. Les fluctuations mensuelles de l'ETP sont données au Tableau 4.

1.1.2. DESCRIPTION DU COURS DE L'OURTHE

Le cours supérieur de l'Ourthe est formé de deux rivières issues du massif ardennais: l'Ourthe occidentale dont la longueur du cours est de 53 km de longueur et l'Ourthe orientale longue de 46 km (Figure 3). Les deux Ourthe se réunissent au

Table 3. Usual average monthly rainfall in mm (for the period 1951-1969) (from Bultot and Dupriez, 1972, 1973, 1975)

Tabla 3. Medias de precipitaciones mensuales en mm (período 1951-1969) (según Bultot y Dupriez, 1972, 1973, 1975)

Tableau 3. Moyennes normales des précipitations mensuelles en mm (période 1951-1969) (d'après Bultot et Dupriez, 1972, 1973, 1975)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	92.0	77.2	63.8	66.0	76.0	85.1	86.6	102.7	80.3	69.6	88.1	102.8
2	102.6	91.9	77.3	76.3	83.0	93.0	108.1	119.6	90.1	80.1	96.6	115.7
3	93.6	85.6	72.8	77.4	90.0	100.0	111.2	116.2	85.5	77.5	96.9	102.7

1 The Ourthe basin at Tabreux (for the period 1951-1969, 17 stations)

2 The Amblève basin at Martinrive (for the period 1951-1970, 19-25 stations, depending on the year)

3 The Vesdre basin at Chaudfontaine (for the period 1951-1973, 13-22 stations) depending on the year

Table 4. Potential monthly evapotranspiration in mm (1967-1972) (from Bultot and Dupriez, 1974)

Tabla 4. Evapotranspiración potencial mensual en mm (1967-1972) (según Bultot y Dupriez, 1974)

Tableau 4. Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm (1967-1972) (d'après Bultot et Dupriez, 1974)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	2.8	7.1	23.2	52.8	80.7	90.9	106.4	78.2	50.5	24.1	6.0	1.8
2	4.4	8.0	25.2	54.5	80.4	90.8	107.9	83.4	51.6	28.1	8.5	2.7

1 The Ourthe basin at Tabreux

2 The Amblève basin at Martinrive

actual Ourthe river, which will then converge with the Meuse at Liège (alt. 63 m) after a course of 133 km. It receives a series of tributaries, the most important being the Amblève and the Vesdre. The course of the Ourthe can be schematically divided in three parts: the upper Ourthe upstream of the Nisramont dam, the lower Ourthe downstream of the Amblève confluence, and the middle Ourthe between the two.

The Ourthe, as most of its tributaries, is a river superimposed on the Palaeozoic basement, which explains why the largest part of its middle and lower course cuts perpendicularly through the large axes of the structure (oriented SW-NE). The substratum is extremely varied from the lithological perspective, which explains the large regional differences which in any case mark the geomorphology of the valley and the dynamics of the river. These problems have formed the subject of numerous studies in physical geography (Alexandre, 1956; Ek, 1957; Targe, 1970; Juvigne, 1963; Brendel, 1967; Cornet, 1995).

The average gradient of the Ourthe is 2.54‰ for the total of its course and 4.5‰, 1.5‰ and 1.2‰ respectively for the upper, middle and lower sections. These differences in the gradient explain the theoretical distribution of the fish-zones according to Huet's classification (1949) (Figure 4).

► Morphology of the channel and the flood plain

From the fluvial perspective the Ourthe is classed as a single channel river. When it cuts through the Ardennes plateau, it forms entrenched meanders whose geometry is influenced by schistose cleavage: it forms in equal measure entrenched meanders in the lower section of its course when it cuts through the Condroz plateau. In these entrenched meanders, small sinuosity scale is superimposed on and reveals the outline of free meanders, since the floodplain is relatively narrow. On the other hand in the Famenne depression the course of the river forms well developed free meanders.

At the time of its incision and the formation of its entrenched meanders the Ourthe abandoned a series of terrace patches, stages from the tertiary surface up to the alluvial plain itself. These fragments can regroup in ten or so distinct levels (Ek, 1956; Cornet, 1995). The difference in height between the upper levels formed at the beginning of the Quaternaire and the real position of the bed allows an appreciation of the incision

embalse de Nisramont, pasando a constituir el Ourthe propiamente dicho que confluye con el Mosa en Lieja (alt. 63 m) después de un recorrido de 133 km, en el que recibe una serie de afluentes, entre los que se encuentran el Amblève y el Vesdre. Esquemáticamente, el curso del Ourthe se puede dividir en tres partes: el Ourthe superior, aguas arriba de la presa de Nisramont, el Ourthe inferior, aguas abajo de la confluencia con el Amblève, y el Ourthe medio, situado entre los dos anteriores.

El Ourthe, como la mayor parte de sus afluentes, es un río superpuesto al zócalo paleozoico, lo cual explica el hecho de que la mayor parte del curso medio e inferior corta perpendicularmente los grandes ejes de la estructura geológica (con orientaciones SO-EN). El sustrato es muy heterogéneo desde el punto de vista litológico, lo cual explica, por otro lado, las grandes diferencias regionales que se observan en la geomorfología del valle y en la dinámica del río. El estudio de estos problemas ha sido objeto de numerosos trabajos de geografía física (Alexandre, 1956; Ek, 1957; Targe, 1970; Juvigne, 1963; Brendel, 1967 y Cornet, 1995).

La pendiente media del Ourthe es del 2,54‰ para el conjunto del río y de 4,5‰, 1,5‰ y 1,2‰, respectivamente, para las partes superior, media e inferior. Estas diferencias de pendiente justifican el reparto de las zonas piscícolas teóricas según la clasificación de Huet (1994) (Figura 4).

► Morfología del lecho menor y de la llanura de inundación

Desde el punto de vista de clasificación fluvial, el Ourthe se cataloga como un río de cauce único. Cuando alcanza la meseta de las Ardenas, forma meandros encajados cuya geometría está influenciada por la esquistosidad; forma también amplios meandros encajados cuando corta la meseta de Condroz. En estos meandros encajados se superponen sinuosidades de menor dimensión, que constituyen un esbozo de meandros libres pero mal desarrollados, debido a que la llanura de inundación es relativamente estrecha. Por el contrario, en la depresión de Famenne, el curso del río forma meandros libres.

Durante el proceso de incisión y de formación de sus meandros encajados, el Ourthe ha abandonado una serie de pequeñas porciones de terrazas, escalonadas desde la superficie del terciario hasta la llanura de inundación actual. Estos restos de terrazas se reagrupan en una decena de niveles distintos (Ek, 1956; Cornet, 1995). El desnivel existente entre los niveles superiores correspondientes al comienzo del cuaternario y la

barrage de Nisramont, pour constituer l'Ourthe proprement dite qui va confluer avec la Meuse à Liège (alt. 63 m) après un parcours de 133 km; elle reçoit une série d'affluents dont l'Amblève et la Vesdre. On peut schématiquement diviser le cours de l'Ourthe en trois parties: l'Ourthe supérieure en amont du barrage de Nisramont, l'Ourthe inférieure en aval du confluent de l'Amblève et l'Ourthe moyenne entre les deux.

L'Ourthe comme la plupart de ses affluents, est une rivière surimposée au socle paléozoïque, expliquant que la plus grande partie de son cours moyen et inférieur coupe perpendiculairement les grands axes de la structure (orientés SO-NE). Le soubassement est très hétérogène du point de vue lithologique, ce qui explique les grandes différences régionales qui se marquent d'ailleurs sur la géomorphologie de la vallée et la dynamique de la rivière. Ces problèmes ont fait l'objet de nombreux travaux de géographie physique (Alexandre, 1956; Ek, 1957; Targe, 1970; Juvigne, 1963; Brendel, 1967; Cornet, 1995).

La pente moyenne de l'Ourthe est de 2,54‰ pour l'ensemble du cours et respectivement 4,5‰ - 1,5‰ et 1,2‰ pour les parties supérieure, moyenne et inférieure. Ces différences de pente expliquent la répartition des zones piscicoles théoriques selon la classification de Huet (1949) (Figure 4).

► Morphologie du lit mineur et de la plaine alluviale

Du point de vue style fluvial, l'Ourthe se classe comme une rivière à chenal unique. Lorsqu'elle entaille le plateau ardennais, elle forme des méandres encaissés dont la géométrie est influencée par la schistosité; elle forme également de vastes méandres encaissés dans la partie inférieure de son cours lorsqu'elle entaille le plateau du Condroz. Dans ces méandres encaissés, des sinuosités de plus petite dimension se superposent et montrent une ébauche de méandres libres mais mal développés, dans la mesure où la plaine alluviale est relativement étroite. Par contre dans la dépression de Famenne, le cours de la rivière forme des méandres libres.

Lors de son incision et de la formation de ses méandres encaissés, l'Ourthe a abandonné une série de lambeaux de terrasses, étagés de la surface tertiaire jusqu'à la plaine alluviale actuelle. Ces lambeaux peuvent se regrouper en une dizaine de niveaux distincts (Ek, 1956; Cornet, 1995). La dénivellation entre les niveaux supérieurs mis en place au début du

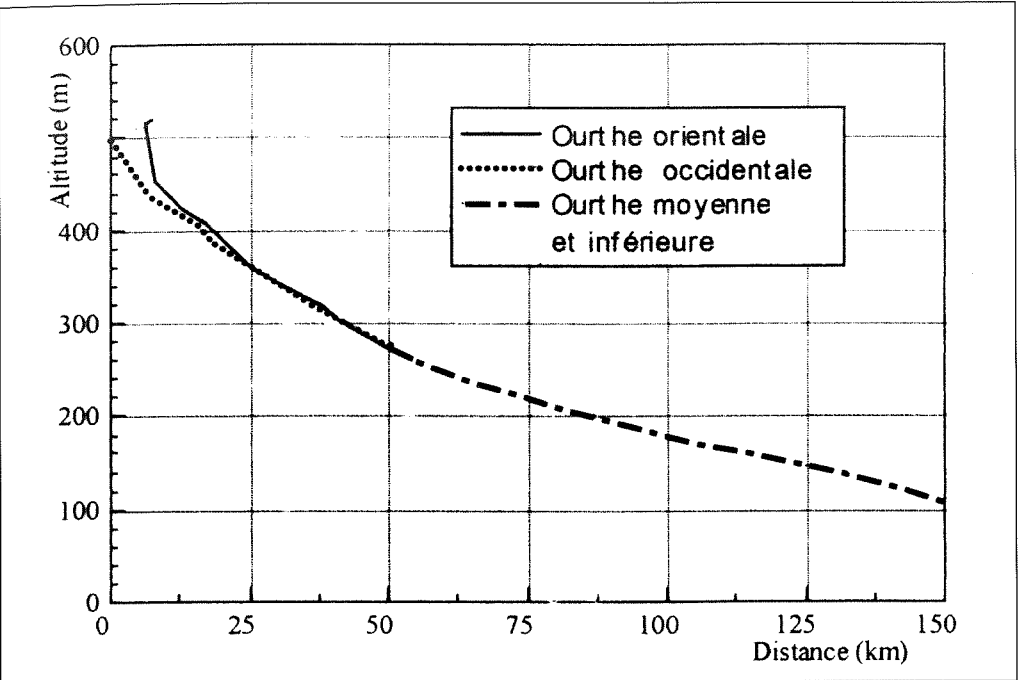


Figure 3. Length profile of the Ourthe
Figura 3. Perfil longitudinal del Ourthe
Figure 3. Profil en long de l'Ourthe

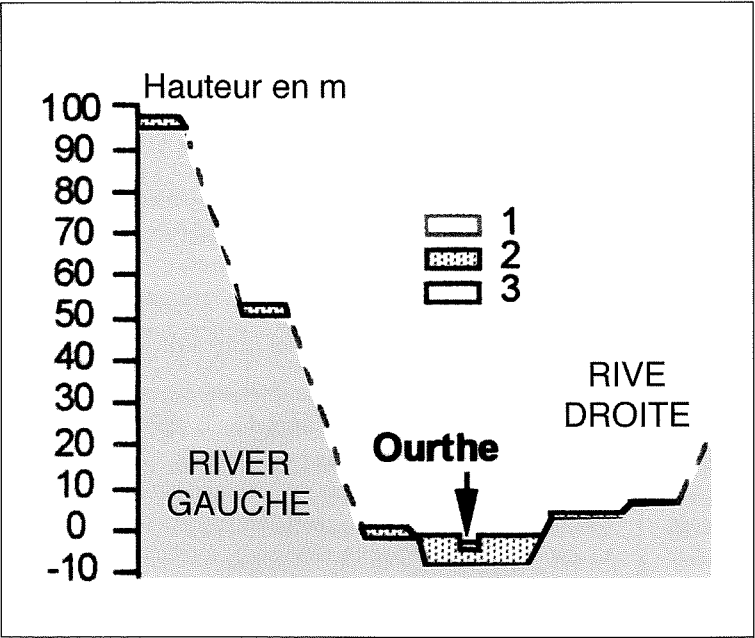


Figure 5. The altimetric relative position of the different terrace levels of the lower Ourthe (modified, from Ek, 1957; Juvigne, 1979). Assumed cross-section with the different terrace patches studied by Juvigne and the different levels found in the material (1) bedrock (2) fluvial deposits (terraces and the floodplain) (3) deposits with volcanic dust.
Figura 5. Posición altimétrica relativa de los diferentes niveles de terrazas en el Ourthe inferior (modificada según Ek, 1957; Juvigne, 1979). Perfil transversal ficticio en el que se señalan los diferentes restos estudiados por Juvigne y los diferentes niveles presentes en la literatura (1) roca madre, (2) depósitos fluviales (terrazas y llanura aluvial), (3) depósitos con cenizas volantes.
Figure 5. Position altimétrique relative de différents niveaux de terrasses de l'Ourthe inférieure (modifié d'après Ek, 1957; Juvigne 1979) Profil transversal fictif où sont reportés les différents lambeaux étudiés par Juvigne et les différents niveaux présents dans la littérature (1) roche en place, (2) dépôts fluviaux (terrazas et plaine alluviale), (3) dépôts avec tephra.

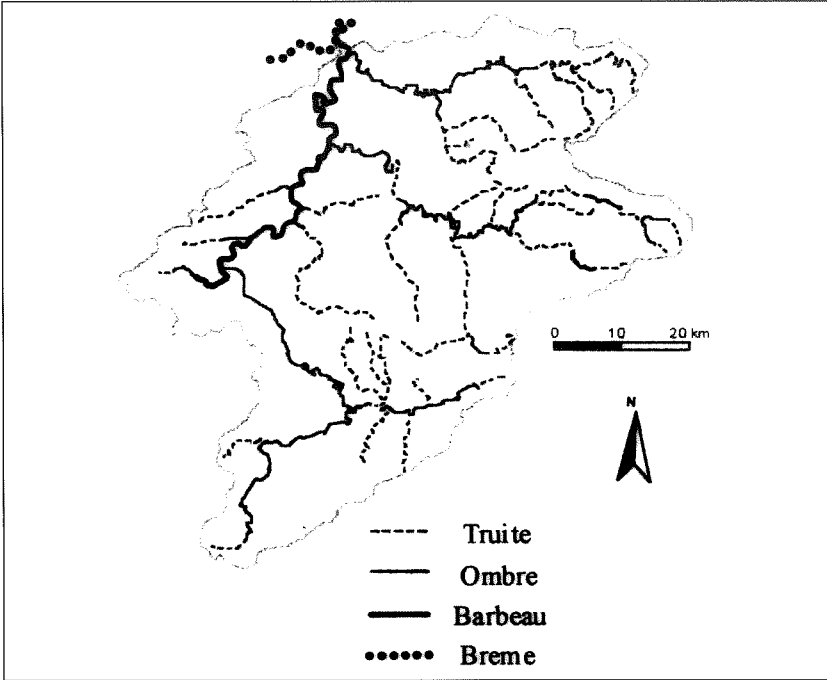


Figure 4. Distribution of the potential fish-zones
Figura 4. Reparto de las zonas piscícolas teóricas
Figure 4. Répartition des zones piscicoles théoriques

of the Ourthe, which, in the case of its lower course, reaches about a hundred metres (Figure 5). Thanks to the individualisation of a stratigraphical marker (volcanic dust), Juvigne (1977) has estimated more precisely the manner of this cutting in the more recent past. In this way he has demonstrated that the incision of the lower Ourthe since the beginning of the last ice age was between 6 to 11 m, that of the Vesdre was between 2.5 to 10 m, the Ourthe in Famenne was less than 5 m and the Amblève between 1 to 6 m. In other words the sets of the lower terraces are at altimetric levels extremely close to those of the floodplain itself. These terrace sets are best developed in the Famenne depression, having encountered least resistance by the schistose substrate.

The width of the floodplain is variable because of the size of the river and therefore of the catchment and is commonly correlated with the discharge of the rivers. In this way the heads of the valleys, the floodplain is almost non-existent. It becomes apparent only in rivers with a catchment area exceeding 4 to 5 km². The floodplain reaches around 10 m in width. for the catchment of about 10 km², 30 to 40 m for basins of about 20 km² and the larger rivers like the Ourthe in Famenne develop floodplains of several hundred metres in width. It is nevertheless necessary to modify this relationship between the width of the floodplain and the size of the river, the latter notably due to the lithology of the valley sides and therefore their resistance to erosion. The Amblève in the "fonds de Quarreux" does not have any floodplain as it flows between steep valley sides made of Cambrian quartzites. The river bed is obstructed by blocks of metric size originating from these valley slopes.

The floodplain looks subhorizontal, the contact with the foot of the valley sides being generally sharp but perhaps eased by the presence of slope deposits or by aeolian accumulations dating back to the last ice-age (Juvigne, 1977). The lower terraces, whose positioning is due most often to a hydroclimatical paleoregime, limit equally the floodplain. They are sometimes situated only several metres above the floodplain but this slight superelevation nevertheless is sufficient enough to reduce the frequency of their submersion, which only occurs during exceptional floods. Even the alluvial fans built up by the tributaries escape frequent submerging, delimiting further the extension of the floodplain.

The thickness of the floodplain is in relation to the dimension of the river; in the lower Ourthe the thickness varies between 3 and 5 m. In a general way, the deposits of the alluvial plain are composed of a pebbles layer left over by the last ice-

posición actual del lecho da una idea del encajonamiento del Ourthe, que, en el caso de su curso inferior, alcanza un centenar de metros (Figura 5). Gracias a la utilización de un indicador estratigráfico individualizado (cenizas volcánicas), Juvigne (1977) ha evaluado de manera más precisa esta incisión en un pasado más reciente; ha demostrado así que el encajonamiento del Ourthe inferior desde el comienzo de la última glaciación está comprendido entre 6 y 11 metros, el del Vesdre entre 2,5 y 10 metros, el del Amblève entre 1 y 6 metros y que el Ourthe en Famenne ha sufrido un encajonamiento de menos de 5 metros. En otras palabras, el conjunto de las terrazas inferiores se sitúa a cotas muy próximas a las de la actual llanura de inundación. Cabe señalar por último que este conjunto de terrazas se encuentra más desarrollado en la depresión de Famenne, habida cuenta de la menor resistencia del sustrato constituido por esquistos.

La anchura de la llanura de inundación varía evidentemente en función del tamaño del río y de su cuenca vertiente, correlacionándose generalmente con el caudal de los ríos. Así, en la cabecera de los valles, con thalwegs elementales, el lecho mayor es casi inexistente. Dicha llanura de inundación comienza a manifestarse en el caso de ríos cuya superficie de cuenca sobrepasa 4-5 km², alcanzando una anchura de 10 metros en el caso de cuencas hidrográficas del orden de 10 km² y de 30-40 metros con cuencas del orden de 20 km², mientras que ríos más importantes, como el Ourthe en Famenne, desarrollan una llanura de inundación de varios centenares de metros de ancho. Es preciso sin embargo matizar esta relación entre la anchura del lecho mayor y el tamaño del río, en función principalmente de la litología de las laderas y en consecuencia de su resistencia a la erosión. Así, el Amblève en los fondos de Quarreux no tiene llanura de inundación, ya que se encuentra encajado entre vertientes abruptas constituidas por calizas del Cámbrico que, por otro lado, le proporcionan bloques de dimensión métrica que obstruyen su lecho.

La llanura de inundación presenta un aspecto subhorizontal, con un contacto claramente marcado con el pie de las laderas, que puede verse enmascarado por la presencia de depósitos de pie de monte o por acumulaciones de origen eólico procedentes de la última glaciación (Juvigne, 1977). Las terrazas inferiores, cuyo origen obedece a menudo a un paleorégimen hidroclimático, delimitan asimismo el lecho mayor. A veces están situadas tan sólo unos pocos metros por encima de la llanura de inundación, pero esta ligera sobreelevación es suficiente, sin embargo, para reducir la frecuencia con que se ven

Quaternaire et la position actuelle du lit, donne une appréciation de l'encaissement de l'Ourthe qui, dans le cas de son cours inférieur, atteint une centaine de mètres (Figure 5). Grâce à l'individualisation d'un marqueur stratigraphique (des poussières volcaniques), Juvigne (1977) a estimé de façon plus précise cette incision dans un passé plus récent; il a ainsi démontré que l'encaissement de l'Ourthe inférieure depuis le début de la dernière période froide était compris entre 6 et 11 m, celui de la Vesdre entre 2,5 et 10 m, l'Ourthe en Famenne s'encaissant de moins de 5 m et l'Amblève de 1 à 6 m. En d'autres termes, les complexes de basses terrasses sont à des niveaux altimétriques très proches de celui de la plaine alluviale actuelle. Précisons enfin que ces complexes de terrasses sont les mieux développés dans la dépression de Famenne, étant donné la moindre résistance du substrat schisteux.

La largeur de la plaine alluviale est évidemment variable en fonction de la taille de la rivière et donc de son bassin versant et est de façon générale, corrélée avec le débit des rivières. Ainsi dans les têtes de vallée, pour les thalwegs élémentaires, le lit majeur est quasi inexistant. Il ne commence à bien s'individualiser que pour des rivières dont la superficie du bassin versant dépasse 4 à 5 km², atteignant une dizaine de mètres de largeur pour des bassins hydrographiques de l'ordre de 10 km² et 30 à 40 m pour des bassins de l'ordre de 20 km² alors que des rivières plus importantes telles que l'Ourthe en Famenne, voient se développer une plaine alluviale de plusieurs centaines de mètres de large. Il faut cependant nuancer cette relation entre largeur du lit majeur et taille de la rivière, ceci notamment en fonction de la lithologie des versants et donc de leur résistance à l'érosion. Ainsi l'Amblève dans les fonds de Quarreux n'a pas de plaine alluviale car elle est ensermée dans des versants raides constitués par les quartzites cambriens, versants qui lui fournissent d'ailleurs des blocs de dimension métrique qui encombrant son lit.

La plaine alluviale présente une allure subhorizontale, le contact avec le pied des versants est généralement net mais peut être atténué par la présence de dépôts de pente ou par des accumulations éoliennes datant de la dernière période froide (Juvigne, 1977). Les basses terrasses dont la mise en place résulte le plus souvent d'un paléorégime hydroclimatique, délimitent également le lit majeur. Elles sont situées parfois à quelques mètres seulement au dessus de la plaine d'inondation mais cette légère surélévation suffit néanmoins à réduire la fréquence de leur submersion, cette dernière ne se produisant que pour des crues exceptionnelles. De même les cônes de déjection édi-

age, topped by silt whose granulometric dimensions range between 30 and 50 microns. This flood silt results from the accumulation of material carried in suspension by the river and deposited during floods in the areas where the current velocity is low.

In the present the rivers can be locally in contact with the bedrock, particularly when it is found close to the foot of the valley sides, but more often they flow over the pebbles layer. It appears therefore that the material left over from the last ice-age is far from having been completely evacuated and that a considerable amount of material remains available to the rivers. This also demonstrates that the incision since the end of the last ice-age is far from being over.

A number of relationships have been established for the Ardennes rivers which connect the different morphometric parameters of the bed and the surface of the hydrographical basin, often used as an accurate descriptor of the size of the rivers (cf. section 1.5.1.). These relationships are also valid for the Ourthe basin. In the section which particularly concerns us (the lower Ourthe), the width varies between 60 and 80 m; the depth of the river at bank full stage reaches 5 m in the pools and 2 to 3 m on the riffles. The riffle/pool interval is about 250 m.

■ The Hydrological Regime

❖ The monthly and annual regime

The Ourthe accounts for about a quarter of the Meuse discharge as it leaves Belgium (Vereerstraeten, 1971); like the Meuse it possesses an oceanic pluvial regime with a maximum discharge in December-February and a minimum discharge in July-August (Figure 2). During the period 1923-1993, the average annual module for the Ourthe at Angleur rose to 53.6 m³/s, with a minimum of 24.2 m³/s in 1933 and a maximum of 88.2

sumergidas, circunstancia que no se produce más que durante crecidas excepcionales. Igualmente, los conos de deyección desarrollados por los afluentes están a salvo de las inundaciones frecuentes, delimitando así el lecho mayor.

El espesor de la llanura de inundación está también relacionado con el tamaño del río; en el Ourthe inferior, dicho espesor varía entre 3 y 5 metros. Generalmente, los depósitos de las llanuras de inundación están constituidos por una capa de cantos rodados procedente de la última glaciación, recubierta por limos cuya dimensión granulométrica oscila entre 30 y 50 micras. Estos limos, denominados limos de avenida, son la consecuencia de la acumulación del material transportado en suspensión por el río durante las crecidas, que decanta en las zonas en donde las velocidades del flujo son menores.

Actualmente, los ríos pueden encontrarse localmente en contacto directo con la roca, especialmente cuando discurren en las proximidades del pie de las laderas, pero lo más frecuente es que fluyan sobre la capa de cantos rodados. De ello se deduce que el material grueso procedente de la última glaciación está lejos de haber sido evacuado en su totalidad, existiendo todavía un stock considerable a disposición de los ríos. Esto demuestra igualmente que la incisión desde dicha época está lejos de ser generalizada.

En lo que se refiere a los ríos de las Ardenas, se ha puesto en evidencia la existencia de una serie de relaciones entre diferentes parámetros morfométricos del río y la superficie de la cuenca hidrográfica, utilizándose esta última como un índice fiable de la importancia del río (ver apartado 1.5.1.). Obviamente, estas relaciones se aplican a la cuenca del Ourthe. En el sector que nos interesa más especialmente (el Ourthe inferior), la anchura varía entre 60 y 80 metros; la profundidad del río a sección llena alcanza 5 m en las pozas y 2-3 m en los vados, con un espaciamiento entre vados y pozas de 250 m.

■ Régimen hidrológico

❖ Régimen anual y mensual

El Ourthe contribuye en una cuarta parte al caudal del Mosa a su salida de Bélgica (Vereerstraeten, 1971); como el Mosa, posee un régimen de tipo pluvial oceánico, con un caudal máximo en diciembre-febrero y un caudal mínimo en julio-agosto (Figura 2). Durante el período 1923-1993, la aportación anual media del Ourthe en Angleur ha sido de 53,6 m³/s, con un mínimo de 24,2 m³/s en 1933 y un máximo de

fiés par des affluents échappent aux inondations fréquentes, délimitant ainsi l'extension du lit majeur.

L'épaisseur de la plaine alluviale est également en relation avec la dimension de la rivière; dans l'Ourthe inférieure, son épaisseur varie entre 3 et 5 m. De façon générale, les dépôts des plaines alluviales sont composés d'une nappe de cailloutis héritée de la dernière période froide, surmontée par des limons dont la dimension granulométrique oscille entre 30 et 50 microns. Ces limons, appelés limons de crue, résultent de l'accumulation du matériel transporté en suspension par la rivière, matériel qui, en période de crue débordante, se décante dans les zones où les vitesses sont moins élevées.

A l'heure actuelle, les rivières peuvent être localement en contact avec la roche en place, spécialement lorsqu'elle se trouve à proximité du bas des versants, mais le plus souvent elles coulent sur la nappe de cailloutis. Il apparaît donc que le matériel caillouteux hérité de la dernière période froide est loin d'être complètement évacué et qu'un stock considérable de matériel reste encore à la disposition des rivières. Ceci démontre également que l'incision depuis la fin de la dernière période froide est loin d'être généralisée.

Au niveau des rivières ardennaises, une série de relations ont été mises en évidence qui lient différents paramètres morphométriques du lit à la superficie du bassin hydrographique, cette dernière étant utilisée comme un descripteur fiable de l'importance de la rivière (cf. point 1.5.1.). Ces relations s'appliquent bien évidemment au bassin de l'Ourthe. Dans le secteur qui nous intéresse plus spécialement (l'Ourthe inférieure), la largeur varie de 60 à 80 m; la profondeur de la rivière au niveau du pleins bords, atteint 5 m dans les mouilles et 2 à 3 m sur les seuils; l'espacement entre seuils et mouilles y est de 250 m.

■ Régime hydrologique

❖ Régime annuel et mensuel

L'Ourthe intervient pour environ un quart dans le débit de la Meuse à sa sortie de Belgique (Vereerstraeten, 1971); comme la Meuse, elle possède un régime du type pluvial océanique avec un débit maximum en décembre-février et un débit minimum en juillet-août (Figure 2). Pendant la période 1923-1993, le module annuel moyen de l'Ourthe à Angleur s'est élevé à 53,6 m³/s, avec un minimum de 24,2 m³/s en 1933 et un maximum

m³/s in 1996. The average monthly discharge fluctuates between a maximum of 93.6 m³/s in February and a minimum of 25.6 m³/s in September (Table 5).

The monthly discharge coefficients of the months with extreme discharges vary approximately (Table 6). One notices a large annual variation of the distribution of the monthly discharge coefficients (1.75 in January, 0.48 in September) and the absolute values of the average monthly discharge figures. Therefore, during the period being considered, the average discharge for February has varied from 16 m³/s to 199 m³/s and that of July from 8.5 m³/s to 195 m³/sec. The ordinary floods of the Ourthe rarely exceed 360 m³/s but a maximum of more than 600 m³/s has been recorded (maximum maximorum of 783 m³/s on 31st December, 1925). The characteristic low water discharge is of the order of 3-10 m³/s. The runoff coefficient (C_{ec}) reaches an average of 0.46 for the period 1923-1990; the maximum is seen in february-march (0.89) and the minimum in july-august (0.23) which are nevertheless the amongst the rainiest months.

The Ourthe regime, in the Pardé typology, is a true pluvial oceanic type, without nival tendency because the altitude of the basin is too low. The Summer minimum is independent of the precipitation values and is conditioned essentially by an important evapotranspiration. The maximum occurs systematically in the Winter, generally in January but its monthly occurrence shows large variations. The analysis of characteristic discharges explained through reference to monthly discharge coefficients (in other words divided by the annual mean discharge) reveals a relative moderation of the regime, typical of the pluvial ocea-

88,2 m³/s en 1966. El caudal medio mensual fluctúa entre un máximo de 93,6 m³/s en febrero y un mínimo de 25,6 m³/s en septiembre (Tabla 5).

La relación entre los caudales medios mensuales y el caudal medio anual correspondientes al citado período es muy variable a lo largo de los diferentes meses (Tabla 6), con unos valores de 1,75 en enero y de 0,48 en septiembre. Durante el período considerado se observa también una gran variabilidad de los caudales medios mensuales. Así, el caudal medio de febrero ha variado entre 16 m³/s y 199 m³/s y el del mes de julio entre 8,5 m³/s y 195 m³/seg. Las crecidas ordinarias del Ourthe rara vez sobrepasan los 360 m³/seg, pero se han registrado máximas de más de 600 m³/s (la máxima maximorum de 783 m³/s el 31 de diciembre de 1925). El caudal característico de estiaje es del orden de 3-10 m³/s. El coeficiente de escorrentía (C_{ec}) alcanza un valor medio de 0,46 durante el período 1923-1990; el máximo se observa en febrero-marzo (0,89) y el mínimo en julio-agosto (0,23) aunque estos últimos meses se encuentran entre los más lluviosos del año.

El régimen del Ourthe, en la tipología de Pardé, es de tipo pluvial oceánico puro, con una tendencia nival muy poco acusada, debido a la baja altitud de la cuenca. El mínimo estival es independiente del valor de las precipitaciones y está condicionado esencialmente por la importancia de la evapotranspiración. El máximo se presenta sistemáticamente en invierno pero su presencia en uno u otro mes muestra una gran variabilidad. El análisis de los caudales mensuales característicos (expresados en relación con la aportación anual) indica una ponderación del

de 88,2 m³/sen 1966. Le débit moyen mensuel fluctue entre un maximum de 93,6 m³/s en février et un minimum de 25,6 m³/s en septembre (Tableau 5).

Les coefficients mensuels de débit des mois à débit extrême diffèrent sensiblement (Tableau 6). On constate une grande variabilité annuelle de la répartition des coefficients mensuels de débit (1,75 en janvier; 0,48 en septembre) et de la valeur absolue des débits moyens mensuels. Ainsi, pendant la période considérée, le débit moyen de février a varié de 16 m³/s à 199 m³/s et celui de juillet de 8,5 m³/s à 195 m³/s. Les crues ordinaires de l'Ourthe dépassent rarement 360 m³/s mais on a enregistré des maxima de plus de 600 m³/s (maximum maximorum de 783 m³/s le 31 décembre 1925). Le débit caractéristique d'étiage est de l'ordre de 3-10 m³/s. Le coefficient d'écoulement (C_{ec}) atteint en moyenne 0,46 pendant la période 1923-1990; le maximum s'observe en février-mars (0,89) et le minimum en juillet-août (0,23) qui comptent pourtant parmi les mois les plus pluvieux.

Le régime de l'Ourthe, dans la typologie de Pardé, est de type pluvial océanique pur, la tendance nival étant très peu marquée, du fait de l'altitude trop basse du bassin. Le minimum estival est indépendant de la valeur des précipitations et est conditionné essentiellement par l'importance de l'évapotranspiration. Le maximum se présente systématiquement en hiver, généralement en janvier mais son occurrence mensuelle montre une grande variabilité. L'analyse des débits caractéristiques exprimés en coefficients mensuels des débits (c'est à dire divisés par le module annuel) révèle une pondération du régime. La relative modération du régime pluvial océanique n'exclut cependant pas une nette variabilité interannuelle des modules annuels.

Table 5. Average monthly discharge (m³/s) of the Ourthe at Angleur (for the period 1923-1993) Station n°1 at Figure 1

Tabla 5. Caudales medios mensuales (m³/s) del Ourthe en Angleur (período 1923-1993) estación n° 1 de la Figura 1

Tableau 5. Débits moyens mensuels (m³/s) de l'Ourthe à Angleur (période 1923-1993) station n°1 à la Figure 1

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
93.6	88.1	74.5	61.0	37.5	28.8	27.3	25.8	25.6	37.0	60.0	83.9	53.6

Table 6. Monthly discharge coefficients (Angleur, 1923-1993)

Tabla 6. Coeficiente mensual de caudales (Angleur, 1923-1993)

Tableau 6. Coefficient mensuel des débits (Angleur, 1923-1993)

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1.75	1.64	1.39	1.14	0.70	0.54	0.51	0.48	0.48	0.69	1.12	1.57

nic, but it does not exclude a noticeable inter-annual variation of the annual mean discharge.

This type of regime marks all the rivers which form the Ourthe basin. Some nuances should be acknowledged, due: i) to the amount of rainfall, ii) to the importance of the evapotranspiration which varies according to the altitude and the land use and iii) to the lag-times of the precipitation revealing the water pathways depending on the lithology of the basin. Thus the ratio between the extreme monthly coefficients generally exceeds 7 for the rivers of Famenne but reaches only 2.9 for the rivers of Condroz which results from bedrock being permeable, and plays the role of a buffer in the discharge's response to the precipitation.

❖ The Floods

Relatively intense precipitation but characterised by its persistence over relatively long periods, is the cause of the greatest floods. It was the case in December 1993 when 350 mm of rain were collected over 30 consecutive days in the Hautes Fagnes and 200 mm in the Condroz. Extremely strong rains but of a short duration can also result in flash floods but in general these affect only the smaller catchment areas, as a result of the rains being strongly localised. This was so in July 1985 when exceptionally strong rains battered Hautes Fagnes plateau: 86 mm fell in 7 hours, including maximum intensities of 20 mm in 30 minutes and 30 mm in 60 minutes, which, following the intensity/duration/frequency curves proposed by Laurent (1973), gives respective recurrences of 20 years and close to 40 years. In response to such intensity the Getz reached a discharge of 80 m³/s, whilst the Helle and the Vesdre 100 m³/s, discharges which have to be considered to constitute a pluricentennial discharge (Petit, 1995). Such Summer floods are relatively rare in the Ardennes river regime, but they have occurred on several occasions on the northern area of the Hautes Fagnes (Pissart, 1961).

Other factors influence the importance of these floods, notably the geomorphologic characteristics of the rivers. This comes out of a comparison between the hourly discharge of the Ourthe measured at Tabreux (Hamoir) and the Amblève at Martinrive, these latter clearly influencing the evolution of dis-

régimen. La relativa moderación del régimen pluvial oceánico no excluye sin embargo una clara variabilidad interanual de las aportaciones anuales.

Este tipo de régimen caracteriza el conjunto de los ríos que constituyen la cuenca del Ourthe. Es importante sin embargo hacer algunas matizaciones: en primer lugar, en función de la magnitud de las precipitaciones; en segundo lugar, en función de la importancia de la evapotranspiración que varía según la altitud y el uso del suelo; y finalmente, en función del tiempo de concentración, que es un indicador del modo de alimentación y en consecuencia de la litología de la cuenca. Así, la relación entre los coeficientes mensuales extremos es generalmente mayor que 7 en los ríos de Famenne, mientras que alcanza tan sólo un valor de 2,9 en los ríos de Condroz, lo cual es debido al hecho de que, en estas últimas cuencas, los terrenos, mayoritariamente permeables, juegan un papel regulador en cuanto a la respuesta de los caudales frente a las precipitaciones.

❖ Las avenidas

Las precipitaciones relativamente intensas, caracterizadas sobre todo por su persistencia en periodos relativamente largos, pueden ser el origen de avenidas importantes; éste fue el caso de la producida en diciembre de 1993, en la que se recogieron 350 mm de precipitación en 30 días consecutivos de lluvia en Hautes-Fagnes y 200 mm en Condroz. Las precipitaciones de mayor intensidad pueden provocar igualmente avenidas catastróficas (flash flood), pero no afectan en general más que a pequeñas cuencas, debido a que dichos episodios lluviosos son muy localizados. Así, en julio de 1985, se produjeron lluvias de intensidad excepcional en el borde de Hautes-Fagnes: 86 mm en 7 horas, pero con intensidades máximas de 20 mm en 30 minutos o de 30 mm en 60 minutos, lo cual, según las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia propuestas por Laurent (1973), corresponde a periodos de 20 y 40 años, respectivamente. Como consecuencia de unas lluvias de tal intensidad, el Getz alcanzó un caudal de 80 m³/s, el Helle y el Vesdre 100 m³/s, valores que deben ser considerados como representativos de una avenida pluricentennial (Petit, 1995). Tales crecidas estivales son relativamente raras en el régimen de los ríos de las Ardenas, pero se presentan con mayor frecuencia en la vertiente norte de Hautes-Fagnes (Pissart, 1961).

Hay otros factores, entre los que se incluyen especialmente las características geomorfológicas de los ríos, que tienen influencia en la importancia de las inundaciones. De la compa-

Ce type de régime caractérise l'ensemble des rivières qui forment le bassin de l'Ourthe. Il convient néanmoins d'apporter quelques nuances, tout d'abord en fonction des quantités précipitées mais également en fonction de l'importance de l'évapotranspiration qui varie suivant l'altitude et l'affectation du sol et enfin en fonction du temps de retard des précipitations, révélateur du mode d'alimentation et donc de la lithologie du bassin. Ainsi le rapport entre les coefficients mensuels extrêmes dépasse généralement 7 pour les rivières de Famenne mais atteint seulement 2,9 pour les rivières du Condroz, ce qui résulte du fait que dans ces derniers bassins, les terrains, majoritairement perméables, jouent un rôle tampon quant à la réponse des débits aux précipitations.

❖ Les crues

Des précipitations relativement intenses mais se caractérisant surtout par leur persistance sur des périodes relativement longues, peuvent être à l'origine de crues importantes; ce fut le cas en décembre 1993 où 350 mm de pluies ont été recueillis en 30 jours consécutifs dans les Hautes-Fagnes et 200 mm dans le Condroz. Des pluies de forte intensité mais de courte durée peuvent également provoquer des crues catastrophiques (flash flood) mais en général elles n'affectent que de petits bassins versants, du fait que ces pluies sont fort localisées. C'est ainsi qu'en juillet 1985, des pluies d'intensité exceptionnelle se sont abattues sur le rebord des Hautes Fagnes: 86 mm en sept heures mais avec des intensités maximales de 20 mm en trente minutes ou encore de 30 mm en 60 minutes, ce qui, d'après les courbes intensité/durée/fréquence proposées par Laurent (1973), donne des récurrences respectives de 20 ans et de près de 40 ans. En réponse à des pluies d'une telle intensité, la Getz a atteint un débit de 80 m³/s, la Helle et la Vesdre 100 m³/s, débits qui doivent être considérés comme représentant une crue pluricentennale (Petit, 1995). De telles crues estivales sont relativement rares dans le régime des rivières ardennaises, mais elles se sont présentées à plusieurs reprises sur le versant septentrional des Hautes-Fagnes (Pissart, 1961).

D'autres facteurs influencent l'importance des inondations et notamment les caractéristiques géomorphologiques des rivières. Ceci ressort de la comparaison entre les débits horaires de

charge of the lower Ourthe (Figure 6). The important supplies of the Amblève, with clearly defined peaks, can be explained first of all by the pretty strong slope of the river, also by the fact that all along its course the floodplain is relatively restricted, and finally by the proximity of marked reliefs which plays a part in the quantity of precipitation and also in the storage of an important covering of snow. On the other hand, the flat rate of the hourly discharge of the Ourthe at the Tabreux station could easily stem from in the overflowing of this river in Famenne, where the width of the floodplain is considerable, resulting in the appreciable storing up of water when a flood occurs there. (Table 7).

❖ Low water levels

The analysis of the hydrographs for the period of non-refilling allows one to work out the emptying of the various aquifers and to calculate the characteristics of the amount of water related to the various component of discharge. These coefficients, calculated by applying Maillet's law, demonstrate in actual fact the different natural modes water pathway: the highest values represent the emptying of stored water by surface and subsurface flow, whilst the weakest values reveal the emptying of groundwater aquifers found in the weathered rocks or in the fissure zones. The importance of reserves supplying the springs is inversely proportional to the value of the recession coefficient, so that the latter gives an appreciation of the importance of groundwaters supplying the springs. The larger values for the drying up coefficients found in Famenne and the Ardennes denotes the impermeability of the basins, whilst the

ración entre los caudales horarios del Ourthe en Tabreux (Hamoir) y del Amblève en Martinrive se deduce que estos últimos influyen claramente en la evolución de los caudales en el tramo inferior del Ourthe (Figura 6). Las aportaciones importantes del Amblève, con puntas bien definidas, pueden explicarse en principio por la fuerte pendiente del río, que hace que a lo largo de todo su curso la llanura de inundación esté relativamente restringida, y por la proximidad de relieves importantes que pueden tener su influencia tanto en lo relativo a la cuantía de las precipitaciones como a la acumulación de una importante cantidad de nieve. Por el contrario, la variación suave de los caudales horarios del Ourthe en Tabreux puede ser debida principalmente a los desbordamientos de este río en Famenne, en donde la anchura de la llanura de inundación es considerable, permitiendo así un almacenamiento importante de las aguas cuando se desbordan. (Tabla 7).

❖ Los estiajes

El análisis de los hidrogramas durante el período de ausencia de realimentación permite conocer con detalle el vaciado de los diferentes acuíferos y calcular las características de recesión de las diferentes componentes del flujo. Estos coeficientes, calculados aplicando la ley de Maillet, ponen de manifiesto formas de alimentación de naturaleza diferente: los valores más elevados representan el vaciado de depósitos de flujo rápido de crecida (escorrentía superficial y subsuperficial), mientras que los valores más bajos corresponden al vaciado de capas situadas en el manto de alteración o en la zona fisurada. La importancia de las reservas que alimentan los diferentes manantiales es inversamente proporcional al valor del coeficiente de agotamiento, de manera que este último da una idea de la importancia de las aguas subterráneas. Los valores bastante elevados de los coeficientes de agotamiento que se observan en Famenne y en Las

l'Ourthe mesurés à Tabreux (Hamoir) et de l'Amblève à Martinrive, ces derniers influençant clairement l'évolution des débits de l'Ourthe inférieure (Figure 6). 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 de son cours, le champ d'inondation est relativement restreint et enfin par la proximité de reliefs marqués qui peuvent jouer un rôle quant à la quantité de précipitations mais aussi quant au stockage d'une couverture de neige importante. A l'inverse, l'allure aplatie des débits horaires de l'Ourthe à la station de Tabreux pourrait notamment résulter des débordements de cette rivière en Famenne, où la largeur de la plaine alluviale est considérable, permettant dès lors un stockage appréciable des eaux lorsqu'il y a inondation. (Tableau 7).

❖ Les étiages

L'analyse des hydrogrammes en période de non-réalimentation permet de cerner la vidange des différents réservoirs aquifères et de calculer les caractéristiques de rétrocession des lames d'eau liées aux différents modes d'écoulement. Ces coefficients, calculés en appliquant la loi de Maillet, dénotent en fait des modes d'alimentation de nature différente: les valeurs les plus élevées représentent la vidange de réservoirs d'écoulement rapide de crue (ruissellement et écoulement de subsurface), tandis que les valeurs les plus faibles révèlent la vidange de nappes situées dans le manteau d'altération ou dans la zone de fissure. L'importance des réserves alimentant les sources est inversement proportionnelle à la valeur du coefficient de tarissement, de telle sorte que ce dernier donne une idée de l'importance des eaux souterraines alimentant les sources. Les valeurs assez élevées des coefficients de tarissement trouvées

Table 7. Characteristic discharges of the lower Ourthe (Tabreux + Martinrive)

Tabla 7. Caudales características del Ourthe inferior (Tabreux + Martinrive)

Tableau 7. Débits caractéristiques de l'Ourthe inférieure (Tabreux + Martinrive)

	Discharge (m ³ /s)
Bankfull discharge	300
Q₁₀	504
Q₂₀	587
Q₅₀	694
Q₁₀₀	774

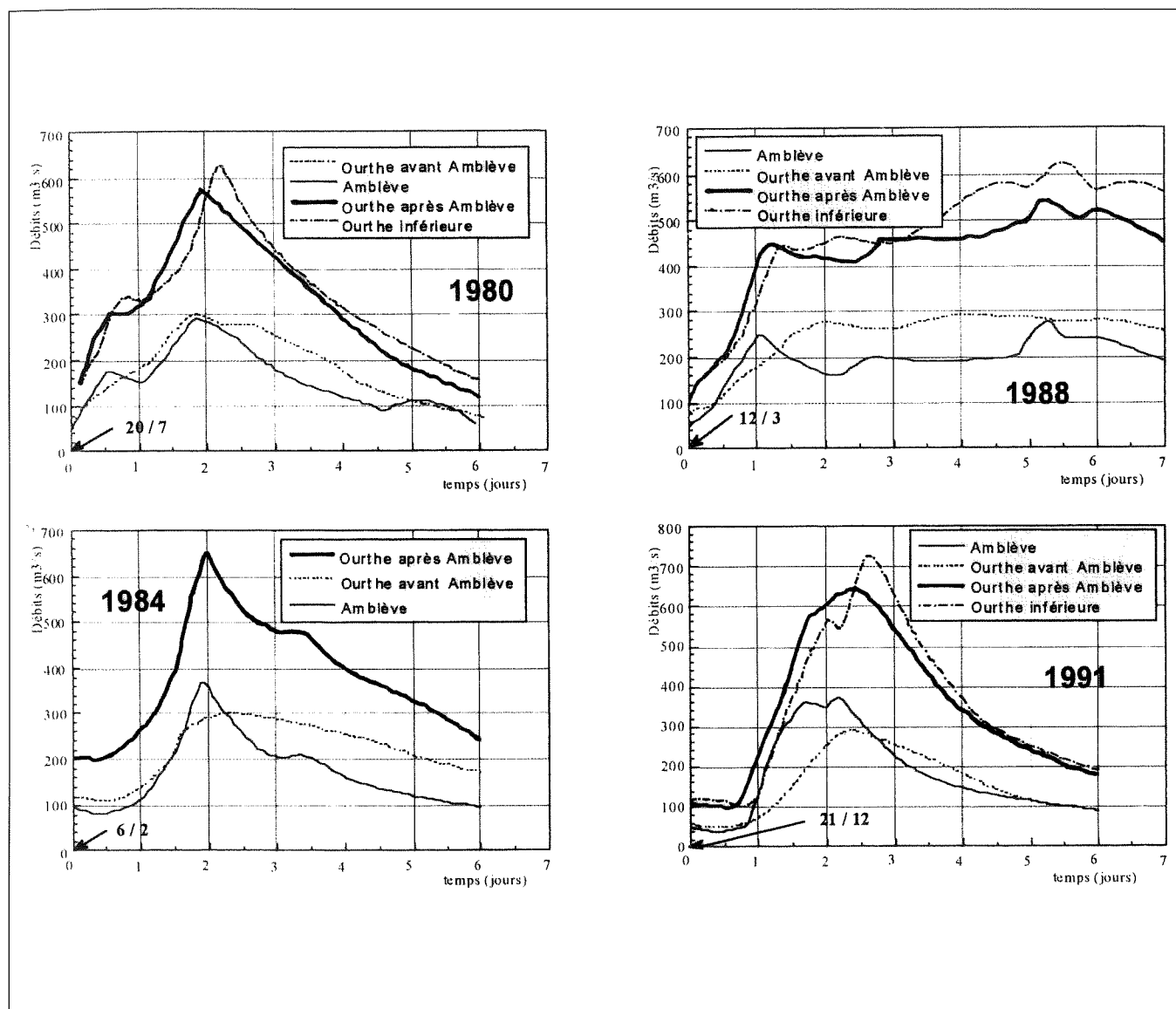


Figure 6. Hydrographs of four significant floods measured at the stations (1) Tabreux (no.8, Figure 1) (middle Ourthe) (2) Martinrive (no.5, Figure 1) (Amblève) (3) calculated at the confluence and (4) Sauheid on the lower Ourthe. $Q_b = 300 m^3/s$. value of the bankfull discharge of the lower Ourthe. Data from the MET-SETHY (in Pauquet and Petit, 1993)

Figura 6. Hidrogramas de cuatro avenidas importantes medidas en las estaciones (1) Tabreux (nº 8, Figura 1) (Ourthe superior), (2) Martinrive (nº 5, Figura 1) (Amblève), (3) reconstituída en la confluencia y (4) en la estación de Sauheid en el Ourthe inferior. $Q_b = 300 m^3/s$; valor del caudal a sección llena en el Ourthe inferior. Datos del MET-SETHY (en Pauquet y Petit, 1993)

Figure 6. Hydrogrammes de quatre crues importantes mesurées aux stations (1) de Tabreux (nº8, Figure 1) (Ourthe supérieure), (2) de Martinrive (nº5, Figure 1) (Amblève), (3) reconstitué à la confluence et (4) à la station de Sauheid sur l'Ourthe inférieure. $Q_b = 300 m^3/s$: valeur du débit à pleins bords de l'Ourthe inférieure. Données du MET-SETHY (in Pauquet et Petit, 1993)

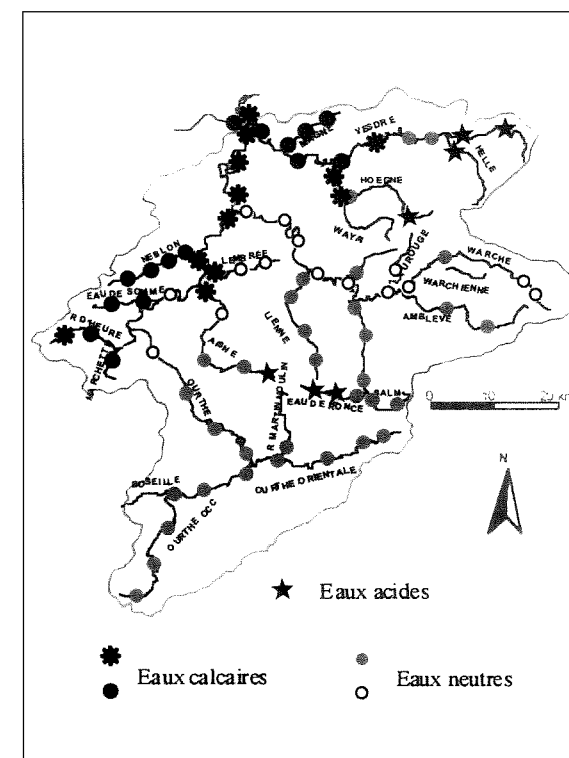


Figure 7. Natural water types

Figura 7. Tipos de agua natural

Figure 7. Types naturels d'eau

clearly lesser values in the Condroz demonstrates the presence of significant aquifers in the limestone.

❖ *Identification and frequency of the bankfull discharge*

There is a conspicuous relationship binding the value of the bankfull discharge and the size of the catchment area for the gravel bed developed on the impermeable substratum which in the main characteristic of the Ardennes (Petit and Daxhelet, 1989). In general the value of the bankfull discharge increases with the catchment size.

In order to determine the recurrence of the bankfull discharge, the series of maximum annual floods has first of all been treated and adjusted for the Gumbel distribution. There is a strikingly reliable relationship in the Ardennes river types itself, the recurrence rising with the size of the basin and therefore with the size of the river: for the Ardennes rivers whose basin size is less than 500 km², the recurrence of bankfull discharge is around one year, which is to say close to the lower limit which can be obtained in carrying out the processing from annual floods. For more significant rivers such as the Ourthe and the Amblève the recurrence of discharge with full banks reaches 1.5 to 2 years. For the rivers of the Famenne whose bed capacity is generally greater, this recurrence reaches 2 to 3 years (Petit and Pauquet, 1997). Finally, for baseflow dominated rivers developed on permeable rocks (Condroz and Pays de Herve) the recurrence of the bankfull discharge is more significant.

The recurrence of the bankfull discharge is also calculated from the partial discharge series, in other words, when one takes into consideration not only the single maximum annual flood, but all the greater maximum discharges at a fixed threshold provided that they are independent of each other. The rivers of the Ardennes type whose hydrographical basin is less than 500 km² have a recurrence of 0.4 to 0.7 years, whilst for the most important rivers, such as the lower Ourthe and the Amblève, this recurrence is about 1-2 years. In other respects one finds the same differences for the Famenne rivers and the baseflow dominated rivers.

Ardenas ponen de manifiesto la impermeabilidad de sus cuencas hidrográficas, mientras que los valores claramente menores que se observan en Condroz resaltan la presencia de acuíferos importantes en las calizas.

❖ *Identificación y frecuencia del caudal a sección llena*

En los ríos con acarreo sobre sustrato impermeable, que son los que caracterizan principalmente Las Ardenas, se ha puesto de manifiesto la existencia de una relación entre el valor del caudal a sección llena (capacidad del cauce) y el tamaño de la cuenca vertiente (Petit y Daxhelet, 1989). Generalmente, el valor del caudal a sección llena aumenta con el tamaño de la cuenca vertiente.

Con objeto de determinar el período de retorno del caudal a sección llena, se ha considerado la serie de crecidas máximas anuales y se le ha ajustado una ley de Gumbel. Se aprecia una relación bastante fiable para los ríos de Las Ardenas, aumentando el período de retorno con el tamaño de la cuenca y en consecuencia con la dimensión del río: en los ríos de las Ardenas, cuyo tamaño de cuenca es inferior a 500 km², el período de retorno del caudal a sección llena es del orden de 1 año, es decir, próximo al límite inferior que se puede obtener al trabajar con la serie de crecidas anuales; en el caso de ríos más importantes, como el Ourthe y el Amblève, el período de retorno mencionado pasa a ser de 1,5 a 2 años. Para los ríos de Famenne, cuya capacidad del cauce es generalmente más importante, este período de retorno alcanza valores del orden de 2 a 3 años (Petit y Pauquet, 1979). Finalmente, en los ríos desarrollados sobre terrenos permeables (Condroz y País de Herve), cuyo régimen está caracterizado por un predominio del caudal de base, el período de retorno del caudal a sección llena es también más importante.

El período de retorno del caudal a sección llena se ha calculado igualmente a partir de la serie parcial de caudales, es decir, tomando en consideración no sólo la máxima crecida anual sino todos los caudales máximos superiores a un valor prefijado, siempre que sean independientes unos de otros. Los ríos de Las Ardenas cuya cuenca hidrográfica es inferior a 500 km² tienen un período de retorno del orden de 0,4 a 0,7 años, mientras que los ríos más importantes, como el Ourthe y el Amblève, este período de retorno es del orden de 1,2 años. Por otra parte, se observan las mismas diferencias que antes en los ríos de Famenne y en los de predominio del caudal base.

en Famenne et en Ardenne dénotent l'imperméabilité des bassins hydrographiques, tandis que les valeurs nettement plus faibles dans le Condroz, y démontrent la présence d'aquifères importants dans les calcaires.

❖ *Identification et fréquence du débit à pleins bords*

Une relation liant la valeur du débit à pleins bords (capacité du lit) et la taille du bassin versant a été mise en évidence pour les rivières à charge caillouteuse sur substrat imperméable caractérisant principalement l'Ardenne (Petit et Daxhelet, 1989). De façon générale, la valeur du débit à pleins bords augmente avec la taille du bassin versant.

Afin de déterminer la récurrence du débit à pleins bords, la série des crues maximales annuelles a tout d'abord été traitée et ajustée dans la distribution de Gumbel. Il se dessine une relation assez fiable pour les rivières de type ardennais, la récurrence augmentant avec la taille du bassin et donc avec la dimension de la rivière: pour des rivières ardennaises dont la taille du bassin est inférieure à 500 km², la récurrence du débit à pleins bords est de l'ordre de 1 an, c'est à dire proche de la limite inférieure que l'on peut obtenir en effectuant le traitement à partir des crues annuelles; pour des rivières plus importantes telles que l'Ourthe et l'Amblève, la récurrence du débit à pleins bords atteint 1,5 à 2 ans. Pour les rivières de Famenne dont la contenance du lit est généralement plus importante, cette récurrence atteint des valeurs de l'ordre de 2 à 3 ans (Petit et Pauquet, 1997). Enfin, pour les rivières développées sur des terrains perméables (Condroz et Pays de Herve), et dont le régime est caractérisé par une dominance du débit de base, la récurrence du débit à pleins bords est elle aussi plus importante.

La récurrence du débit à pleins bords a également été calculée à partir de la série partielle des débits, c'est à dire lorsque l'on prend en considération non plus la seule crue maximale annuelle, mais tous les débits maximums supérieurs à un seuil fixé, pourvu qu'ils soient indépendants les uns des autres. Les rivières de type ardennais dont le bassin hydrographique est inférieur à 500 km², ont une récurrence de l'ordre de 0,4 à 0,7 ans; pour les rivières ardennaises plus importantes telles que l'Ourthe inférieure et l'Amblève, cette récurrence est de l'ordre de 1,2 ans. Par ailleurs, on retrouve les mêmes différences pour les rivières de Famenne et les rivières à débit de base dominant.

Ecological Aspects

Natural chemical composition of the waters

The Ourthe basin is characterised by the heterogeneity in the composition of its soil and subsoil, which leads to a large diversity in the chemical natural water types, defined in terms of the degree of mineralisation (Symoens, 1957), calcium content and alkalinity (Table 8) (Descy and Empain, 1981).

In the eastern area of the basin which lies on acid rocks (quartzophyllades), the rivers are characterised by water ranging from acidic to neutral, little mineralised and mildly alkaline (conductivity less than 125 µmho/cm; less than 50 ppm CaCO₃; less than 15 mg Ca⁺⁺/l; = Ardennes type) (Figure 7). In the extreme east of the basin, on the Hautes-Fagnes, one even finds peat bog zones from which emerge streams with naturally acidic water (pH < 5, < 5 ppm CaCO₃; = "Fagne" type) where no fish can live (Philippart, 1979a). The rest of the basin lies on alkaline rocks (limestone, limestone schists) and is drained by streams with strongly mineralised water, very alkaline (between 50 to 110 ppm CaCO₃; limestone type) and rich in calcium. Several streams pass from one lithological region to another and undergo a longitudinal evolution of the natural composition of their water. The Ourthe on the whole, as well as the Amblève, the Vesdre, the Aisne and the Lambrée, are of an Ardennes, even "Fagnes" type in their upper courses and reach a limestone type in their lower courses. The chemical profile of the Ourthe reveals this phenomenon very well. (Figure 8).

Ecología

Composición química natural de las aguas

La cuenca del Ourthe se caracteriza por su heterogeneidad en la composición del suelo y del sustrato, que conlleva una gran diversidad en la química natural de las aguas, definida en términos de grado de mineralización (Symoens, 1957), contenido en calcio y alcalinidad (Tabla 8) (Descy y Empain, 1981).

En la parte oriental de la cuenca, constituida por rocas ácidas (cuarzofilitas), los cursos de agua se caracterizan por aguas ligeramente ácidas o neutras, poco mineralizadas y débilmente alcalinas (conductividad inferior a 125 µmho/cm; menos de 50 ppm de CaCO₃; menos de 15 mg de Ca⁺⁺/l; = tipo "ardennais") (Figura 7). En el extremo este de la cuenca, en la meseta de Hautes Fagnes, existen también zonas de turberas que dan lugar a cursos de aguas ácidas (pH < 5; < 5 ppm de CaCO₃; = tipo "fagnes") en los que no vive ninguna especie piscícola (Philippart, 1979a). El resto de la cuenca reposa sobre un zócalo de rocas alcalinas (esquistos calizos, calizas) y está drenado por cursos de agua fuertemente mineralizados, muy alcalinos (de 40 a 110 ppm de CaCO₃; tipo calizo) y ricos en calcio. Varios cursos de agua pasan de una región litológica a otra y sufren una evolución longitudinal acusada en la composición natural de sus aguas. El Ourthe en su conjunto, así como el Amblève, el Vesdre, el Aisne y el Lambrée son de tipo "ardennais" e incluso "fagne" en su curso superior, y se aproximan al tipo calizo en su curso inferior. El perfil químico del Ourthe muestra muy bien este fenómeno (Figura 8).

Aspect écologique

Composition chimique naturelle des eaux

Le bassin de l'Ourthe se caractérise par une hétérogénéité de la composition du sol et du sous-sol qui entraîne une grande diversité des types chimiques naturels d'eau définis en terme de degré de minéralisation (Symoens, 1957), de teneur en calcium et d'alcalinité (Tableau 8) (Descy et Empain, 1981).

Dans la partie orientale du bassin qui repose sur des roches acides (quartzophyllades), les cours d'eau se caractérisent par des eaux acides à neutres, peu minéralisées et faiblement alcalines (conductivité inférieure à 125 µmho/cm; moins de 50 ppm CaCO₃; moins de 15 mg Ca⁺⁺/l; = type ardennais) (Figure 7). Dans l'extrême Est du bassin, sur le plateau des Hautes Fagnes, on trouve même des zones de tourbière d'où émergent des cours naturellement d'eau acides (pH < 5, < 5 ppm CaCO₃; = type fagnard) où aucun poisson ne vit (Philippart, 1979a). Le reste du bassin repose sur un socle de roches alcalines (schistes calcaires, calcaire) et est drainé par des cours d'eau fortement minéralisés, très alcalins (de 50 à 110 ppm CaCO₃; type calcaire) et riches en calcium. Plusieurs cours d'eau passent d'une région lithologique à d'autre et subissent une évolution longitudinale marquée de la composition naturelle de leur eau. L'Ourthe dans son ensemble, ainsi que l'Amblève, la Vesdre, l'Aisne et la Lambrée sont du type ardennais et même fagnard dans leur cours supérieur et se rapprochent du type calcaire dans leur cours inférieur. Le profil chimique de l'Ourthe révèle très bien ce phénomène (Figure 8).

Table 8. Classification of the streams in the Ourthe basin according to alkalinity (mg/l CaCO₃) (Descy and Empain, 1981)
Tabla 8. Clasificación de los cursos de agua de la cuenca del Ourthe en función de la alcalinidad (mg/l de CaCO₃) (Descy y Empain, 1981)
Tableau 8. Classification des cours d'eau du bassin de l'Ourthe d'après l'alcalinité (mg/l CaCO₃) (Descy et Empain, 1981)

Type	Alkalinity (mg/l CaCO ₃)	Description
1	0-5	peat acid and poor in bicarbonate water (East Haut-Plateau rives: Helle, high Vesche)
2	6-20	poor "Ardennes type" water (Amblève, Lembrée)
3	15-50	rich "Ardennes type" water (middle Ourthe)
4	51-110	poor in calcium and normally mineralised water (Cower Ourthe, Covert Hoëgne)
5	130-265	rich in calcium and strongly mineralised water, from limestone regions (Eau d'Heure, Somme, Néblon)

This natural diversity of the chemical composition of the water currents introduces a regional component in the sensitivity of the streams to certain types pollutants (heavy metals, for example) and their self-purifying capability.

❖ Thermal regime

The thermal regime of the Ourthe at Hamoir, upstream of the Amblève confluence, has been well documented for the period 1988-1996 (Phillipart, current research). July is usually the warmest month with a general average of 18.9 °C, a minimum monthly average of 15.9 °C in 1988 and a maximum monthly average of 21.5 °C in 1994, the year with the warmest July ever recorded in Belgium since 1883. Next comes August (18.5 °C; a minimum of 17.2 °C in 1993 and a maximum of 20.4 °C in 1995) and then June (16.4 °C; a minimum of 14.9 °C in 1995 and a maximum of 18.2 °C in 1996). For these three Summer months the general average temperature (1988-1996) is 17.9 °C with a minimum of 16.2 °C in 1988 and a maximum of 19.1 °C in 1994, the year which lies in fourth place (after 1983, 1947 and 1976) in the set of Belgium's warmest summers since 1883. Amongst other extreme characteristics of the thermal regime we will mention: an July-August average reaching a maximum of 20.3 °C in 1995, the ten-day average reaching a maximum of 22.5 °C in the second ten-day period of July 1994, the daily average reaching a maximum of 28.9 °C on the same day and 42 days with a temperature greater than 20 °C in 1994 and 1995.

The Amblève, the main tributary of the Ourthe, offers just before its confluence with this river a largely similar thermal regime, but one which is overall slightly less cold (Figure 9). On the other hand the Aisne, a small Ardennes tributary of the Ourthe at Bomal is markedly colder, maximum recorded temperatures for 1989-1996 being:

- General average for July: 14.7 °C (min. 13.0 in 1993 and max. 16.3 in 1994)
- Maximum monthly average: 16.3 °C in July 1994
- Maximum ten-day average: 16.9 °C in the third ten-day period of July 1994
- Maximum daily average: 19 °C, 9.6.96
- Momentary maximum: 21.1 °C, 9.6.96
- Maximum July-August average: 15.5 °C in 1995
- Maximum average in June-July-August: 14.8 in 1994
- Maximum number of days with a temperature greater than 15 °C: n = 49 in 1994

Esta diversidad natural de la composición química de las aguas fluyentes introduce una componente regional en la sensibilidad de los cursos de agua frente a ciertos tipos de contaminantes (metales pesados, p.e.) y a su capacidad de autodepuración.

❖ Régimen térmico

Se conoce el régimen térmico del Ourthe en Hamoir, aguas arriba de su confluencia con el Amblève, durante el período 1988-1996 (PHILLIPART, investigación en curso). Normalmente, el mes más caluroso es julio, con una media general de 18,9 °C, una media mensual mínima de 15,9 °C en 1988 y una media mensual máxima de 21,5 °C en 1994, año en que se produjo el mes más caluroso en Bélgica desde 1883. Le siguen el mes de agosto (18,5 °C; mínima 17,2 °C en 1993 y máxima 20,4 °C en 1995) y el mes de junio (16,4 °C; mínima 14,9 °C en 1995 y máxima 18,6 °C en 1996). Durante estos 3 meses de verano, la temperatura media general (1988-1996) ha sido de 17,9 °C, con un mínimo de 16,2 °C en 1988 y un máximo de 19,1 °C en 1994, siendo éste el cuarto valor (después de 1983, 1947 y 1976) en la serie de veranos más calurosos en Bélgica desde 1883. Entre otros extremos superiores característicos del régimen térmico del Ourthe, cabe señalar: una media máxima de 20,3 °C en el período julio-agosto de 1995, una temperatura decenal máxima de 22,5 °C durante la segunda decena de julio de 1994, una media diaria máxima de 25,0 °C el 05/07/94, una temperatura instantánea máxima de 28,9 °C el 05/07/94 y un número máximo de 42 días con temperatura superior a 20 °C en 1994 y 1995.

El Amblève, principal afluente del Ourthe, presenta, justo aguas arriba de su confluencia con éste, un régimen térmico similar aunque un poco menos frío en su conjunto (Figura 9). Por el contrario, el Aisne, pequeño afluente "ardennais" del Ourthe en Bomal, es claramente más frío, con unas temperaturas máximas en el período 1989-1996 de:

- Media general de julio: 14,7 °C (min. 13,0 en 1993 y máx. 16,3 en 1994);
- Media mensual máxima: 16,3 °C en julio de 1994;
- Media decenal máxima: 16,9 °C durante la tercera decena de julio de 1994;
- Media diaria máxima: 19,0 °C el 09/06/96;
- Máxima instantánea: 21,1 °C el 09/06/96;
- Media máxima en julio-agosto: 15,5 °C en 1995;
- Media máxima en junio-julio-agosto: 14,8 °C en 1994;
- Número máximo de días con temperatura > 15 °C: n = 49 en 1994;

Cette diversité naturelle de la composition chimique des eaux courantes introduit une composante régionale dans la sensibilité des cours d'eau à l'égard de certains types de polluants (métaux lourds, par ex.) et de leurs capacités d'auto-épuration.

❖ Régime thermique

Le régime thermique de l'Ourthe à Hamoir, en amont du confluent de l'Amblève, est connu pour la période 1988-1996 (Phillipart, recherche en cours). Le mois normalement le plus chaud est juillet avec une moyenne générale de 18,9 °C, une moyenne mensuelle minimale de 15,9 °C en 1988 et une moyenne mensuelle maximale de 21,5 °C en 1994, année qui a connu le mois de juillet le plus chaud depuis 1883 en Belgique. Viennent ensuite le mois d'août (18,5 °C; minimum 17,2 °C en 1993 et maximum 20,4 en 1995) et le mois de juin (16,4 °C; minimum 14,9 °C en 1995 et maximum 18,2 °C en 1996). Pour ces 3 mois d'été, la température moyenne générale (1988-1996) est de 17,9 °C, avec un minimum de 16,2 °C en 1988 et un maximum de 19,1 °C en 1994, située en 4ème position (après 1983, 1947 et 1976) dans la série des étés les plus chauds depuis 1883 en Belgique. Parmi les autres caractéristiques extrêmes supérieures du régime thermique de l'Ourthe, nous citerons: une moyenne en juillet-août maximale de 20,3 °C en 1995, une température décadaire maximale de 22,5 °C pendant la 2ème décade de juillet 1994, une moyenne journalière maximale de 25,0 °C le 05/07/94, une température instantanée maximale de 28,9 °C le 5/07/94 et un nombre maximum de 42 jours avec > 20 °C en 1994 et 1995.

L'Amblève, principal affluent de l'Ourthe, présente juste avant sa confluence avec cette rivière un régime thermique fort similaire mais globalement un peu moins froid (Figure 9). En revanche, l'Aisne, petit affluent ardennais de l'Ourthe à Bomal, est nettement plus froid, les températures maximales observées dans cette rivière en 1989-1996 étant:

- Moyenne générale de juillet: 14,7 °C (min. 13,0 en 1993 et max. 16,3 en 1994);
- Moyenne mensuelle maximale: 16,3 °C en juillet 94;
- Moyenne décadaire maximale: 16,9 °C pendant la 3ème décade de juillet 1994;
- Moyenne journalière maximale: 19,0 °C le 09/06/96;
- Maximum instantané: 21,1 °C le 09/06/96;
- Moyenne maximale en juillet-août: 15,5 en 1995;
- Moyenne maximale en JJA: 14,8 en 1994;
- Nombre maximum de jours avec > 15 °C: n = 49 en 1994.

1994 and 1995 appear as the two years with the warmest summers. The strong natural thermal contrast at the Aisne-Ourthe confluence plays a major ecological role from the point of view of the migration of salmonid fish.

These data concerning the thermal regimes of the basin rivers constitute reference points to be potentially used in evaluating the effects on the chemical properties of the water (oxygenation) and on the aquatic life of hydro-climatic changes (hydrological and thermal regimes) either artificial (dam lakes, reduction of discharge) or natural (warming of the climate) likely to affect the basin completely or in part.

1.1.3. TENDENCIES AT PRESENT OF NATURAL CHANGE

Climate

As concerns climatic modifications any specific data for the Ourthe basin does not exist. These elements have been studied in details at the Uccle station (Brussels) where a long serie of observations (since 1833) have been analysed by the Meteorological Institute. These conclusions can be extrapolated for other stations situated in the Ourthe basin or immediately near by, particularly Liège-Monsin and Saint-Hubert.

Analysis of the average yearly temperatures at Uccle since 1833 reveals two relatively stable periods, the first from 1833 to 1910, the second, warmer, from 1930 to 1993. The change between 1910 and 1930 consists in an increase in the average yearly temperatures of nearly 1 °C. This rise of 1 °C was connected with the evolution of the seasonal temperatures: Winter and Spring already show a significant increase since 1910 whilst the warming in Summer and Autumn only reveals itself towards 1930. The total annual pluviometrics between 1833 and 1933 show also significant change towards 1910 with an average increase of 7%.

The comparison, still at Uccle, between the evolution of mean values for the period 1961-1990 and the two periods used as reference points already (1901-1930 and 1931-1960) allows one to isolate the following elements:

- between 1901-30 and 1931-60 a significant change in temperature increase and the duration of the period of sunshine, with a particularly marked increase in maximum temperatures.
- between 1931-60 and 1961-90 an absence of statistically significant variations in temperature and rainfall even though an

Apareciendo 1994 y 1995 como los años con veranos más calurosos. El fuerte contraste térmico natural que se produce en la confluencia entre el Aisne y el Ourthe tiene un papel ecológico importante desde el punto de vista de la emigración de salmonidos.

Estos datos sobre los regímenes térmicos de los ríos de la cuenca constituyen situaciones de referencia potencialmente utilizables para evaluar las consecuencias en la calidad química del agua (oxigenación) y en las biocenosis acuáticas debidas a cambios tanto naturales (recalentamiento) como artificiales (embalses, reducciones de caudal) en los regímenes hidrológicos y térmicos que pueden afectar total o parcialmente a la cuenca.

1.1.3. TENDENCIA NATURAL ACTUAL DE CAMBIO

Clima

En lo que se refiere a las modificaciones climáticas, no existen datos específicos en la cuenca del Ourthe. El IRM ha realizado estudios detallados en la estación de Uccle (Bruselas) a partir de series largas de observaciones (desde 1833). Las conclusiones deducidas en Uccle parecen ser extrapolables a otras estaciones situadas en la cuenca del Ourthe o en sus proximidades, como Liège-Monsin y Saint Hubert.

El análisis de las temperaturas medias anuales en Uccle desde 1833 pone en evidencia la existencia de dos períodos relativamente estables: el primero, entre 1833 y 1910, y el segundo, más cálido, entre 1930 y 1933. El cambio entre 1910 y 1930 se traduce en un incremento de la temperatura media anual de cerca de 1 °C. Un examen detallado del comportamiento de las temperaturas mensuales desde 1833 ha permitido relacionar la evolución de las temperaturas estacionales con este aumento de 1 °C: el invierno y la primavera muestran ya una elevación significativa desde 1910, mientras que el recalentamiento en verano y en otoño no se produce hasta 1930. Las precipitaciones anuales entre 1833 y 1933 muestran también un cambio significativo hacia 1910, con un incremento medio del 7%.

La comparación, en la estación de Uccle, de la evolución de las distribuciones normales del período 1961-1990 con las de los períodos precedentes (1901-1930 y 1931-1960) permite resaltar los siguientes aspectos:

- un cambio significativo al alza en las temperaturas y en el tiempo de insolación en los períodos 1901-30 y 1931-60, con un incremento particularmente marcado en las temperaturas máximas;

1994 et 1995 apparaissent comme les deux années les plus chaudes pendant l'été. Le fort contraste thermique naturel qui existe à la confluence Aisne-Ourthe joue un rôle écologique majeur au point de vue de la migration des poissons salmonidés.

Ces données sur les régimes thermiques des rivières du bassin constituent des situations de référence potentiellement utilisables pour évaluer les incidences sur la qualité chimique de l'eau (oxygénation) et sur les biocénoses aquatiques des changements hydro-climatiques (régimes hydrologiques et thermiques) ou artificiels (lacs de barrages, réduction des débits) et naturels (réchauffement du climat) susceptibles d'affecter le bassin en tout ou en partie.

1.1.3. TENDANCE ACTUELLE DE CHANGEMENT NATUREL

Climat

En ce qui concerne les modifications climatiques, il n'existe pas de données spécifiques au bassin de l'Ourthe. Ces éléments ont été étudiés de façon détaillée à la station de Uccle (Bruxelles) où de longues séries d'observations (depuis 1833) ont été traitées par l'IRM. Mais les conclusions tirées à Uccle semblent être transposables à d'autres stations situées dans le bassin de l'Ourthe ou à proximité immédiate; il s'agit de Liège-Monsin et de Saint-Hubert.

L'analyse des températures annuelles moyennes à Uccle depuis 1833 met en évidence deux périodes relativement stables: la première de 1833 à 1910 et la seconde, plus chaude, entre 1930 et 1933. Le changement entre 1910 et 1930 se traduit par une hausse moyenne de la température annuelle de près de 1 °C. Un examen détaillé du comportement des températures mensuelles depuis 1833 a permis de mettre en relation l'évolution des températures saisonnières avec cette augmentation de 1 °C: l'hiver et le printemps montrent déjà une hausse significative dès 1910 alors que le réchauffement en été et en automne ne se produit que vers 1930. Les totaux pluviométriques annuels entre 1833 et 1933 montrent également un changement significatif vers 1910 avec une augmentation moyenne de 7%.

La comparaison, toujours à Uccle, de l'évolution des normales pour la période 1961-1990 à celle des deux périodes de références précédentes (1901-1930 et 1931-1960) permet de dégager les éléments suivants:

- entre 1901-30 et 1931-60, un changement significatif à la hausse pour les températures et la durée d'insolation, avec une hausse particulièrement marquée des températures maximales;

examination of seasonal values shows more marked modification in Spring, with a maximum temperature which shrinks by 0.7 °C and an increase in rainfall of 25% in relation to the period 1931-60.

The evolution of maximum and minimum yearly averages has been contrasted with different stations for the period 1954-1993. The rate of the curves is strongly similar, only the absolute values differing between these stations.

Hydrological regime

Information does not exist for the Ourthe itself but studies have been carried out of two of the sub-tributaries, the Warche and the Gileppe. These studies are of great interest as they are based on a relatively long and consistent series of discharge. Moreover these rivers are characteristic of small basins in the Ardennes. By comparison we have also paid attention to the Semois. Whilst this river is found outside the Ourthe basin, it offers physiographical and climatical characteristics close to those of the Ourthe. Furthermore the Semois has a basin of nearly the same size (1,200 km²) as the Ourthe.

As the variable used - the average annual discharge - presents very large inter-annual variations it is recommended that a filtering method be used, in order to compare rivers of a different size as well as to eliminate strong differences in annual variations. Different methods are used but the most currently used (Probst and Tardy, 1985) consists first of calculating moving averages (X_1) over a relatively large time series (five years generally) and then weighting them using a deviation d/X_m where $d = (X_1 - X_m)$ from the inter-annual value of the average (X_m).

This method has been applied to the discharge of the Gileppe, the Semois at Membre and the Warche at Butgenbach (Petit, 1995). As far as it concerns the Gileppe stream, a dry period is noted for 1890-1900 followed by a wet period which is followed systematically until 1930, which increases between 1900 and 1910 and, on the other hand, during the 1920s (Figure 10). It is followed by a dry period in the 1930s and a slightly wetter period in the 1940s. The drought of the 1930s was also found in the Warche, despite the respite of a slightly wetter period in the 1940s. This was followed by a distinct wet period

- una ausencia de variaciones estadísticamente representativas en las temperaturas y en las precipitaciones en los períodos 1931-60 y 1961-90, aunque el examen de los valores estacionales muestra que, en primavera, las modificaciones son más acusadas, con una disminución de 0,7 °C en la temperatura máxima y un aumento del 25% en las precipitaciones, con relación al período 1931-60.

Se ha comparado la evolución de los promedios anuales de las temperaturas máximas y mínimas de diferentes estaciones a lo largo del período 1954-1993. El aspecto de las curvas es muy parecido, con diferencias tan sólo en los valores absolutos según los lugares.

Régimen hidrológico

No se tiene información sobre el Ourthe propiamente dicho, pero se han encontrado estudios realizados sobre dos de sus subafluentes, el Warche y el Gileppe. Estos estudios tienen un gran interés, ya que están basados en una serie relativamente larga y fiable de caudales; además, estos ríos son bastante característicos de las cuencas de pequeña extensión de las Ardenas. A modo de comparación, se ha considerado también un estudio realizado en el Semois; aunque este río se encuentra fuera de la cuenca del Ourthe, presenta características fisiográficas y climáticas parecidas a las de éste, y tiene la ventaja adicional de tener un tamaño de cuenca bastante importante (1,200 km²), más parecida a la del Ourthe que a las de los otros dos ríos mencionados anteriormente.

Como la variable utilizada -caudal medio anual- presenta variaciones interanuales muy grandes, es recomendable utilizar un filtro que permita, además de la eliminación del ruido de fondo de las variaciones anuales, la comparación entre ríos de tamaño diferente. Existen diversos métodos, pero uno de los más utilizados habitualmente (Probst y Tardy, 1985) consiste, en primer lugar, en calcular las medias móviles (X_1) para un período de tiempo relativamente amplio (en general cinco años), ponderándolas posteriormente mediante el empleo de una desviación d/X_m donde $d = (X_1 - X_m)$ a partir del valor de la media interanual (X_m).

Este método se ha aplicado a los caudales del Gileppe, del Semois en Membre y del Warche en Butgenbach (Petit, 1995). En lo que concierne al Gileppe, se observa en primer lugar un período seco entre 1890 y 1900, seguido de un período húmedo que se mantiene hasta 1930, con unas fases más acusadas entre 1910 y 1920, por una parte, y los años veinte por otra (Figura 10). A continuación se observa un período seco en los años treinta

- entre 1931-60 y 1961-90, une absence de variations statistiquement significatives pour les températures et les précipitations bien que l'examen des valeurs saisonnières montre qu'au printemps, les modifications sont plus marquées, avec une température maximale qui diminue de 0,7 °C et des précipitations qui augmentent de 25% par rapport à la période 1931-60.

L'évolution des moyennes annuelles des températures maximales et minimales a été mise en relation avec différentes stations pour la période 1954-1993. L'allure des courbes est fort semblable, seules les valeurs absolues sont différentes selon les sites.

Régime hydrologique

Nous n'avons pas d'indication sur l'Ourthe elle-même, mais des études fouillées ont été effectuées sur deux de ses sous-affluents, la Warche et la Gileppe. Ces études présentent un grand intérêt dans la mesure où elles sont basées sur une série relativement longue de débits fiables; de plus ces rivières sont assez caractéristiques des bassins de petite dimension de l'Ardenne. A titre de comparaison, nous avons également fait appel à une étude réalisée sur la Semois; même si cette rivière se trouve en dehors du bassin de l'Ourthe, elle présente en effet des caractéristiques physiographiques et climatiques proches de celles de l'Ourthe, et présente en outre l'avantage d'avoir une taille de bassin assez importante (1,200 km²), se rapprochant plus de celle de l'Ourthe que les deux autres rivières mentionnées ci-dessus.

Comme la variable utilisée - le débit moyen annuel - présente des variations interannuelles très larges, il est recommandé d'utiliser un filtre qui permet, outre l'élimination du bruit de fond des variations annuelles, la comparaison entre des rivières de taille différente. Différentes méthodes existent, mais une des filtres les plus couramment utilisés (Probst et Tardy, 1985) consiste tout d'abord à calculer les moyennes mobiles (X_1) sur un pas de temps relativement large (cinq ans en général) et ensuite de les pondérer en utilisant une déviation d/X_m où $d = (X_1 - X_m)$ à partir de la valeur interannuelle de la moyenne (X_m).

Cette méthode a été appliquée aux débits de la Gileppe, de la Semois à Membre et de la Warche à Butgenbach (Petit, 1995). En ce qui concerne le ruisseau de la Gileppe, on note tout d'abord une phase sèche en 1890-1900 suivie d'une période humide qui schématiquement se poursuit jusqu'en 1930 mais qui culmine entre 1900 et 1910 d'une part, dans les années vingt d'au-

in the 1960s, a marked drought in the 1970s and a new wet period in the 1980s. Similar tendencies are found for the Semois although the wet peak of the 1940s was more pronounced there. These variations fit well with regime variations in the great European rivers which result from hydroclimatic causes. According to Probst (1989) they can be schematised as follows: dry period from 1860 to 1910 with a small wet period around the 1880s; wet period from 1910 to 1940 followed by a dry period from 1940 to 1957 with a slightly wetter period in 1951 and 1952; moderately wet period from 1957 to 1970, followed by a marked drought in the 1970s, and finally a return to a wet period since 1979

Assani (1997) has carried out several studies on the annual discharge of the Warche for the period 1930-1988. He has statistically demonstrated that the series exhibit neither a rise nor a decrease of the discharge over time. This absence of any tendency reveals that the growth in impermeable surfaces in the watershed, due to anthropic activity (road construction, building etc.), has no effect on the inter-annual variation of annual averages.

► Predicted changes in the regime (following global change)

Based on a conceptual model previously tested, Bultot *et al.* (1988) have simulated on the regimes of some rivers the impact of the rise in temperature resulting from the growth in concentration of CO₂ in the atmosphere. These modifications would be closely related to the basins supply and therefore to their lithological and physiographical characteristics. So in the basins where infiltration predominates and where aquifers are important (the Dyle and to a lesser extent the Berwinne), there will be a noticeable growth in the base flow discharge. On the other hand in basins where runoff prevails (the Semois for example), the winter floods will be more frequent and the low water discharge more pronounced (Gellens, 1991; Gellens and Demarre, 1994).

y un episodio un poco más húmedo en los años cuarenta. La sequía de los años treinta se presenta también en el Warche al igual que la continuación algo más húmeda de los años cuarenta. A continuación, centrando el análisis en el Warche, se observa un episodio húmedo en los años sesenta, una sequía acusada en los años setenta y un nuevo período húmedo en los años ochenta. Se observa asimismo un buen paralelismo con el Semois, aunque en éste el pico húmedo de los años cuarenta es más acusado. En resumen y con ligeras matizaciones, las grandes variaciones de régimen debidas a causas hidroclimáticas, puestas de manifiesto por Probst (1989) en los grandes ríos europeos, se pueden esquematizar en la forma siguiente: período seco de 1860 a 1910, con un pequeño episodio húmedo alrededor de 1880; período húmedo desde 1910 a 1940, seguido de un período seco desde 1940 a 1957, con una situación más húmeda en 1951 y 1952; período moderadamente húmedo desde 1957 a 1970, seguido de la acusada sequía de los años setenta y vuelta finalmente a un período más húmedo a partir de 1979.

Assani (1997) ha llevado a cabo diversos análisis sobre los caudales anuales del Warche durante el período 1930-1988. Tras la aplicación de diversos tests estadísticos, ha demostrado que la serie no revela ningún aumento ni disminución de caudales con el tiempo; esta ausencia de tendencia muestra en realidad que el aumento de las superficies impermeables en la cuenca vertiente, como consecuencia de actividades antrópicas (construcción de carreteras, edificaciones, etc.) no ha afectado de manera significativa a la variación interanual de los módulos anuales.

► Previsión de modificaciones del régimen (a consecuencia del cambio global)

Con base en un modelo conceptual previamente calibrado, Bultot *et al.* (1988) han simulado el impacto del incremento de la temperatura debido al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera sobre el régimen de diferentes ríos. Las modificaciones del régimen estarían estrechamente ligadas a los procesos de alimentación de sus cuencas y a sus características litológicas y fisiográficas. Así, en las cuencas en las que predomina la infiltración y los acuíferos son potentes (Dyle y en menor medida Berwinne), habría un crecimiento sensible del caudal de base. Por el contrario, en las cuencas en las que predomina la escorrentía superficial (Semois, por ejemplo), las crecidas invernales serían más frecuentes y los estiajes más acusados (Gellens, 1991; Gellens y Demaree, 1994).

tre part (Figure 10). Il s'ensuit une période sèche dans les années trente et un épisode un peu plus humide dans les années quarante. La sécheresse des années trente se retrouve sur la Warche, ainsi que la reprise un peu plus humide des années quarante. Par la suite il s'y individualise un épisode humide dans les années soixante, une sécheresse marquée dans les années septante et une nouvelle période humide dans les années quatre-vingts. On note un bon parallélisme pour la Semois, bien que le pic humide des années quarante y soit nettement plus marqué. On retrouve ainsi, à quelques nuances près, les grandes variations de régimes liées à des causes hydroclimatiques, variations mises en évidence par Probst (1989) dans des grands fleuves européens et qui peuvent être schématisées comme suit: période sèche de 1860 à 1910 avec un petit épisode humide aux alentours des années 1880; période humide de 1910 à 1940 suivie d'une 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 marquée des années septante et enfin retour à une période plus humide à partir de 1979.

Assani (1997) a effectué de nombreux traitements sur les débits annuels de la Warche pour la période 1930-1988. Au terme de différents tests statistiques, il a démontré que la série ne trahit aucune augmentation ni aucune diminution des débits avec le temps; cette absence de toute tendance montre en fait que l'accroissement des surfaces imperméables dans le bassin versant, à la suite des activités anthropiques (construction de routes, habitations, etc.) n'a pas affecté de manière significative la variation interannuelle des modules annuels.

► Prévision de modifications du régime (suite au global change)

En se basant sur un modèle conceptuel testé au préalable, Bultot *et al.* (1988) ont simulé l'impact sur le régime de différentes rivières, de l'augmentation de la température liée à un accroissement de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère. Les modifications du régime seraient étroitement liées aux processus d'alimentation de ces bassins et donc à leurs caractéristiques lithologiques et physiographiques. Ainsi dans les bassins où l'infiltration prédomine et où les aquifères sont puissants (la Dyle et dans une moindre mesure le Berwinne), il y aurait un accroissement sensible du débit de base. En revanche, dans les bassins où les écoulements superficiels prévalent (la Semois par exemple), les crues hivernales seraient plus fréquentes et les étiages plus marqués (Gellens, 1991; Gellens et Demaree, 1994).

1.2. PRESENT LEVEL OF TRANSFORMATIONS OF THE RIVERS AND WATERSHEDS

1.2.1. DEGREE OF TRANSFORMATION OF THE WATERSHED

Changes in the land use have been traced from old maps and allow one to see the evolution of the importance of massive forests (the first maps date from the end of the 18th century). Data have also been collected by Bamboneyo (1995) who consulted yearbooks of agricultural inventory from the National Statistics Institute.

It emerges from this analysis that the forest was less extensive at the end of the 18th century than now, with a minimum in the middle of the 19th century. The replanting of trees was begun in the second half of the 19th century but especially during the 20th century, with an increase of about 35,000 ha between 1920 and 1950 for the Ourthe basin. This evolution is slower in the following years, with nearly 8,000 ha of additional forests between 1950 and 1970. This replanting was mainly done with coniferous trees (Bamboneyo, 1995).

Moreover, it must be noted that a shift occurred in agricultural practices, especially in the north-east of the Ardennes, which was very early affected by the expansion of pasture land in response to the wheat crisis at the end of the 19th century. On the other hand, pasture land hardly exceeds half the agricultural area in the central Ardennes (Christians and Daels, 1988).

1.2.2. THE DEGREE OF TRANSFORMATION OF THE FLOODPLAIN

■ The tendency towards urbanisation of the flood plain

Meunier (1996) carried out a study of the localisation of villages and urban centres in relation to flooding areas in some sections of the Ourthe valley. In Famenne the largest part of housing is found on safe sites such as the lower terraces or alluvial fans. On the other hand in the two most significant small centres (Hamoir and Barvaux), located on the border of Famenne and Condruz, nearly a quarter of the buildings are found in flooding areas. This phenomenon is not recent in

1.2. NIVEL ACTUAL DE TRASFORMACIÓN DE LOS RÍOS Y DE SUS CUENCAS

1.2.1. GRADO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CUENCA

La modificación de los usos del suelo se ha analizado en base a mapas antiguos, lo cual ha permitido observar la evolución de la importancia de las masas forestales (los primeros mapas datan de finales del siglo XVIII). Bamboneyo (1995) ha recogido también datos cronológicos a partir de la consulta de los Anuarios de censos Agrícolas efectuados por el Instituto Nacional de Estadística.

De todo este análisis se deduce que la extensión forestal a finales del siglo XVIII era menor que en la época actual, con un mínimo a mediados del siglo XIX. La reforestación comenzó en la segunda mitad del siglo XIX pero se ha desarrollado sobre todo durante el siglo XX. En este sentido, en la cuenca del Ourthe se observa un incremento de cerca de 35.000 ha entre 1920 y 1950; posteriormente la tendencia se suaviza, con poco más de 8.000 ha de masa forestal adicional entre 1950 y 1970. Estas repoblaciones forestales se han efectuado sobre todo con especies resinosas (Bamboneyo, 1995).

Por otro lado, hay que destacar un profundo cambio en las prácticas de cultivo, especialmente en la zona nordeste de las Ardenas que se ha visto afectada pronto por la expansión de los prados como consecuencia de la crisis del trigo de finales del siglo XIX; en la zona central de las Ardenas, por el contrario, los cultivos herbáceos apenas sobrepasan la mitad de la extensión de las superficies agrícolas (Christians y Daels, 1988).

1.2.2. GRADO DE TRANSFORMACIÓN DE LA LLANURA ALUVIAL

■ Tendencia a la urbanización de la llanura aluvial

Meunier (1996) ha realizado un estudio sobre la localización de los pueblos y aglomeraciones urbanas en relación con las zonas inundables en ciertos sectores del valle del Ourthe. En Famenne, la parte esencial del hábitat se encuentra en lugares protegidos, como son las terrazas y los conos de deyección. Por el contrario, en dos pequeñas aglomeraciones más importantes (Hamoir y Barvaux), situadas en el límite entre Famenne y Condruz, cerca de la cuarta parte de las construcciones se encuentran en zona inundable. En Hamoir, no se trata de un

1.2. NIVEAU ACTUEL DE TRANSFORMATION DES RIVIERES ET BASSINS VERSANTS

1.2.1. DEGRÉ DE TRANSFORMATION DU BASSIN VERSANT

Les modifications d'affectations du sol ont été retracées à partir de cartes anciennes et permettent de voir l'évolution de l'importance des massifs forestiers (les premières cartes datent de la fin du XVIIIe siècle). Des données chiffrées ont également été recueillies par Bamboneyo (1995) qui a consulté les Annuaire de recensements Agricole effectués par l'Institut National de Statistique.

Il ressort de cette analyse que l'étendue forestière était moindre à la fin du XVIIIe siècle qu'à l'heure actuelle, avec un minimum au milieu du XIXe siècle. Le reboisement a débuté dès la seconde moitié du XIXe siècle mais surtout au cours du XXe siècle. On note ainsi, pour le bassin de l'Ourthe, un accroissement d'environ 35.000 ha entre 1920 et 1950; la tendance est plus lente par la suite, avec un peu moins de 8.000 ha de forêts en plus entre 1950 et 1970. Ces reboisements ont surtout été effectués en résineux (Bamboneyo, 1995).

Par ailleurs, il faut noter un profond changement dans les pratiques culturales, spécialement dans l'Ardenne du nord-est qui a été très tôt atteinte par l'expansion des herbages à la suite de la crise du blé à la fin du XIXe siècle; dans l'Ardenne centrale par contre, l'herbage dépasse à peine la moitié des surfaces agricoles (Christians et Daels, 1988).

1.2.2. DEGRÉ DE TRANSFORMATION DE LA PLAINE ALLUVIALE

■ Tendence à l'urbanisation de la plaine alluviale

Meunier (1996) a réalisée une étude sur la localisation des villages et centres urbains par rapport aux zones inondables dans certains secteurs de la vallée de l'Ourthe. En Famenne, l'essentiel de l'habitat se trouve sur des sites refuges tels que des basses terrasses ou des cônes de déjection. En revanche, dans deux petits centres plus importants (Hamoir et Barvaux) situés à la limite de la Famenne et du Condruz, près du quart du total des constructions se trouvent en zone inondable. A Hamoir, il ne s'agit pas d'un phénomène récent puisque plus

Hamoir where more than 40% of the buildings situated in flooding areas predate 1918. Alternatively, more than half of the buildings located in the flooding areas in Barvaux have been constructed between 1946 and 1980, caused by the expansion of tourism before the series of large floods.

► The growth of camp sites

The growth of camp sites in the flooding area is a recent trend since the beginning of the 1970s. Presently, most of the sites have become residential, with caravans that can no longer be moved and with a number of permanent cabins that have been erected. Very often, furthermore, parcel limits are lined with hedges, which cause a roughness increase of the floodplain during overbanking and therefore the rising of the water level.

For the sole municipality of Esneux where severe problems exist during floodings, Linotte (1995) has listed sixteen campsites or residential parks installed in the flooding area; eleven are permitted by law (generally granted between 1972 and 1975) whilst five are not and were closed (sometime more than ten years after the refusal). Presently nine campsites remain of about 650 places. The closing of four camp sites between 1989 and 1991 results perhaps from the greatest frequency of more significant floods during the 1980s.

Since fifteen years ago, more and more people with low incomes have settled in these campsites and residential parks near of the river and are thus exposed to the winter floods. Linotte (1995) reports a study by the Teignouse (an official association involved in the struggle for life against social exclusion) indicating that in Aywaille (in the Amblève valley) the number of people living in campsites has climbed from 30 in 1991, to 60 in 1992, and to more than 100 in 1993. This social situation makes decisions by local authorities a delicate matter, concerning the clearing up of this occupation of risk zones; Furthermore, their protection involves sometimes local hydraulic works unjustified in other circumstances.

fenómeno reciente, ya que más del 40% de los inmuebles situados en zona inundable son anteriores a 1918. Por el contrario, en Barvaux, más de la mitad de los edificios situados en zona inundable han sido construidos entre 1946 y 1980, lo cual está ligado a la expansión del turismo antes de la llegada de las grandes avenidas.

► Proliferación de campings

La proliferación de campings en zona inundable es un fenómeno bastante reciente, cuyo impulso principal se ha producido a principios de los años setenta. En la actualidad, la mayor parte de estos campings se ha convertido en zonas residenciales, lo cual implica que las caravanas no pueden ya ser desplazadas o que se han edificado un serie de chalets. Muy a menudo también, los límites de las parcelas se han definido mediante setos, lo cual se traduce en un aumento de la rugosidad del lecho mayor durante las crecidas y en una sobreelevación de la lámina de agua.

Tan sólo en el municipio de Esneux, en el que se plantean graves problemas durante las inundaciones, Linotte (1995) ha detectado no menos de dieciséis campings o parques residenciales instalados en zona inundable; once de ellos tenían la autorización correspondiente (expedida generalmente entre 1972 y 1975), cinco no la habían obtenido y tuvieron que cerrar (a veces diez años después de recibir la denegación de la autorización). Actualmente, existen todavía nueve campings, con unas 650 plazas aproximadamente; el cierre de cuatro campings entre 1989 y 1991 está ligado probablemente a la mayor frecuencia de las avenidas durante los años ochenta.

Desde hace quince años, un número cada vez mayor de personas con escasos recursos viven permanentemente al borde de los ríos, en estos campings y parques residenciales, y están a merced de las crecidas invernales. Linotte (1995), con base en un estudio de la "Teignouse" (Asociación oficial cuyo objetivo es luchar contra la exclusión social), indica que en Aywaille (en el valle del Amblève) el número de personas residentes en los campings ascendía a 30 en 1991, a 60 en 1992 y a más de 100 en 1993. Esta situación social hace que la toma de decisiones por parte de las autoridades locales sea a veces delicada, ya que la supresión de dichas zonas de riesgo precisa en ocasiones de obras hidráulicas que no se justificarían en otras circunstancias.

de 40% des immeubles situés en zone inondable datent d'avant 1918. Par contre à Barvaux, plus de la moitié des bâtiments répertoriés en zone inondable ont été construits entre 1946 et 1980, ce qui est lié à l'expansion du tourisme avant la série des grandes crues.

► Prolifération des campings

La prolifération des campings en zone inondable est un phénomène assez récent qui a pris son essor principal au début des années septante. A l'heure actuelle, la plupart de ces campings sont devenus résidentiels, impliquant que les caravanes ne peuvent plus être déplacées ou qu'une série de constructions "en dur" tels que des chalets ont été édifiées. Très souvent aussi, les limites des parcelles sont plantées de haies, ce qui n'est pas sans répercussion sur une augmentation de la rugosité en lit majeur lors de crues débordantes et donc d'une surélévation du plan d'eau.

Pour la seule commune d'Esneux où se posent de graves problèmes lors des inondations, Linotte (1995) a répertorié pas moins de seize campings ou parcs résidentiels installés en zone inondable; onze d'entre eux avaient une autorisation d'exploiter (généralement délivrée entre 1972 et 1975), cinq ne l'avaient pas obtenue et durent donc fermer (parfois plus de dix ans après avoir essuyé le refus). A l'heure actuelle, il subsiste encore neuf campings totalisant près de 650 emplacements; la fermeture de quatre campings entre 1989 et 1991 est peut être liée à la fréquence plus importante des crues lors des années quatre-vingt.

Depuis une quinzaine d'années, de plus en plus de personnes à faible revenus habitent en permanence en bordure des rivières, dans ces campings et parcs résidentiels, et sont donc à la merci des crues hivernales. Linotte (1995) citant une étude de la Teignouse (Association officielle ayant notamment pour but la lutte contre l'exclusion sociale) note qu'à Aywaille (dans la vallée de l'Amblève), le nombre de personnes habitant dans les campings se montaient à 30 en 1991, à 60 en 1992 et à plus de 100 en 1993. Cette situation sociale rend parfois délicate la prise de décision par les autorités locales, de la suppression de telles zones à risque et leur protection nécessite parfois des aménagements locaux qui ne se justifieraient pas en d'autres circonstances.

► The influence of conifer plantations in the flood-plain

Detailed studies of the dynamic of the meanders in the Ardennes rivers have shown that conifer plantations in the floodplain produce a considerable acceleration in the process of meanders cut-off, inducing a straightening of their course (Petit, 1992). It results an homogenisation of forms, with a negative impact on the diversity of biotopes. Moreover, as meanders reduced the flow velocity, their suppression accelerate the transmission of flow downstream, with significant consequences for the flood peaks.

The presence of the conifers on bank top prevents the growth of herbaceous covers and allows a more significant lateral erosion.

1.2.3. DEGREE OF TRANSFORMATION OF THE LOW FLOW CHANNEL AND THE RIVERBANKS

Preservation measures for the banks are numerous (cf. pt. 3.2.1.) but no systematic policy exist for their protection or for embankment such as the comprehensive development project set up in Savoie to reclaim land for agriculture. Bank protections were carried out locally and punctually, and only since the last century.

In the lower Ourthe navigation by towing, gave rise to the "droit de franc bord" (right of passage along the river, implying a free access of the riversides); therefore the towpaths and bank protection walls are found in a large part of the river course.

- moreover anti-flood walls have been built in many places
- dredging is regularly carried out, in the same places
- lowering the crest of old weirs
- several old weirs were replaced by movable dams

► Influencia de la plantación de especies resinosas en el lecho mayor

Estudios detallados sobre la dinámica de meandros en los ríos "ardennais" han puesto de manifiesto que las plantaciones de especies resinosas en el lecho mayor provocaban una aceleración considerable en el proceso de corta de meandros, originando así una rectificación de su lecho (Petit, 1992). Ello tiene como consecuencia, por una parte, una banalización de las formas, con un impacto negativo en la diversidad de los biotopos, y por otra, una aceleración de la transmisión del flujo hacia aguas abajo, debido a la supresión de meandros que constituirían un freno al flujo, con los consiguientes perjuicios en cuanto a las puntas de avenida.

Por otra parte, debido siempre a la ausencia de estratos herbáceos, la presencia de especies resinosas en la parte alta de las márgenes permite una erosión lateral más importante.

1.2.3. GRADO DE TRANSFORMACIÓN DEL LECHO MENOR Y DE LAS MÁRGENES

Las protecciones de márgenes son bastante numerosas (cf. 3.2.1.) pero no ha habido nunca una política sistemática de protección de márgenes o de encauzamiento siguiendo un plan global de acondicionamiento como por ejemplo el realizado en Savoie a fin de recuperar tierras para la agricultura. Las protecciones se hacen una por una, desde hace apenas un siglo.

En el Ourthe inferior, la navegación se hacía sobre todo por sirga, lo cual ha dado lugar por otro lado al derecho de franco bordo (derecho de paso a lo largo del río, debiendo los ribereños dejar un acceso); debido a ello, se encuentran caminos de sirga y muros de protección de margen en partes importantes del río.

- se han construido muros anticrecida en varios lugares;
- se efectúan dragados regularmente, en el mismo sitio;
- el descabezamiento de las antiguas presas vertedero;
- estas presas se reemplazan a veces por presas móviles.

► Influence des plantations de résineux en lit majeur

Des études détaillées de la dynamique des méandres dans des rivières ardennaises ont montré que les plantations de résineux en lit majeur provoquaient une accélération considérable des processus de recoupements des méandres, entraînant de ce fait une rectification de leur lit (Petit, 1992). Il en résulte une banalisation des formes, avec un impact négatif quant à la diversité des biotopes mais aussi, du fait de la suppression des méandres qui représentaient un frein à l'écoulement, une accélération de la transmission du flux vers l'aval, avec les conséquences préjudiciables quant aux pics de crue.

Par ailleurs, toujours du fait de l'absence de strates herbacées, la présence de résineux en sommet berge, permet une érosion latérale plus importante.

1.2.3. DEGRÉ DE TRANSFORMATION DU LIT MINEUR ET DES BERGES

Les protections de berge sont assez nombreuses (cf. point 3.2.1.) mais il n'y a jamais eu une politique systématique de protection de berge ou d'endiguement suivant un vaste plan global d'aménagement comme par exemple celui réalisé en Savoie afin de reconquérir des terres pour l'agriculture. Les protections se font au coup par coup, depuis un siècle à peine.

Dans l'Ourthe inférieure, la navigation se faisait notamment par halage, ce qui a d'ailleurs donné lieu au droit de franc bord (droit de passage le long de la rivière, impliquant que les riverains doivent laisser un accès); de ce fait des chemins de halage et des murs de protection de berge se trouvent sur des parties importantes de la rivière.

- par ailleurs des murs anticrues ont été édifiés à plusieurs endroits;
- des dragages sont régulièrement effectués, au même place;
- l'étément des anciens barrages déversoirs;
- ces barrages sont parfois remplacés par des barrages mobiles.

1.3. PRESURES ON THE RIVERS

1.3.1. DRAINAGE AND CHANNELISATION

■ Drainage

Many studies have been carried out in the Hautes-Fagnes where highly dense drainage networks have been dug mainly in order to dry out peat bogs and to plant spruces. Thus already in 1951, Sporck studied the evolution of the discharge of the Ruisseau de la Gileppe since 1880 up until 1947, and showed that the annual discharge coefficients ranges from 0.36 to 0.71, with an average of 0.55. The analysis of these coefficients reveals an evolution consisting first in an increase of the discharge coefficient, from 1890 up until 1910, followed by a progressive decrease until 1930 and a return to the initial value. This evolution arises from modifications in the ratio runoff/groundflow resulting of the drainage works carried out in peat bogs areas "improved" in the Gileppe basin in order to plant spruces. But this evolution arose more from the works than from the change in the vegetation cover itself. The cutting of these ditches creates an artificially dense drainage network that accelerates the water flow and reduces the evaporation. But over time the spruces fill in the greatest part of these ditches in such a way that the water flow slows down and that the evaporation rises up to its initial value. Indeed the proliferation of log jams in the drains increases significantly the roughness (the Manning coefficient moving from 0.055 in the regimes without log jams to over 0.2 in regimes with log jams), which slows down the water transfer to the outlet (Assani and Petit, 1995). However, Mbuyu (1989), carried out a comparative analysis of the three basins of Hautes-Fagnes based on unit hydrographs. He showed that the Helle, where the artificial drainage network is denser, reacts more quickly with clearer peaks, in spite of the fact that this basin offers a longer shape than the other two basins, which instead should have postponed the discharge (Figure 11). It seems therefore that, despite the role of the log jams, the drainage network increases the speed of the transfer to the outlet.

Other studies carried out in the Hautes-Fagnes allow for a better understanding of the role played by peat bogs on the eventual regulation of hydrological regimes and of the impact of the peat bogs deterioration on the discharge. Thus the discharge measured during the period of recession at the outlet of an active peat bog has been linked with fluctuations in the

1.3. PRESIONES SOBRE LOS RÍOS

1.3.1. DRENAJE Y ENCAUZAMIENTO

■ Drenaje

Se han realizado varios estudios en Hautes Fagnes en donde se ha excavado una red de drenaje muy densa con objeto de desecar las turberas y plantar abetos. Así, ya en 1951, Sporck estudió la evolución de los caudales del arroyo Gileppe desde 1880 hasta 1947 y mostró que los coeficientes de escorrentía anuales variaban mucho, entre 0,36 y 0,71, con un valor medio de 0,55. El análisis de estos coeficientes pone de manifiesto una evolución que se traduce, por una parte, en un aumento del coeficiente de escorrentía, desde 1890 hasta 1910, seguido de una disminución progresiva hasta 1930 y un regreso al valor inicial. Esta evolución es el resultado de las modificaciones en la forma de producirse el flujo originadas por los trabajos de drenaje realizados en las turberas de la cuenca del Gileppe para plantar abetos. Ahora bien, esta evolución sería más el resultado de los trabajos efectuados con vistas a esta transformación que del cambio de cobertura vegetal propiamente dicho. En efecto, las fosas de drenaje que fueron excavadas en su momento dieron lugar a una red hidrográfica artificial extremadamente densa, acelerando así el flujo del agua y reduciendo la importancia de la evaporación. Sin embargo, al cabo del tiempo, los abetos han ocupado la mayor parte de dichas fosas de manera que el flujo del agua se ha ralentizado nuevamente, permitiendo que la evaporación alcance una importancia casi igual a la que tenía al principio. Efectivamente, la proliferación de obstáculos vegetales en los drenes aumenta la rugosidad en proporciones apreciables (el coeficiente de Manning pasa de 0,055 en los sistemas diáfanos a más de 0,200 en los sistemas con obstáculos), lo cual ralentiza sensiblemente el tránsito hasta el punto de desagüe (Assani y Petit, 1995). Sin embargo, Mbuyu (1989), basándose en un análisis comparativo de tres cuencas de Hautes-Fagnes mediante los hidrogramas unitarios, ha mostrado que el Helle, con la red de drenaje artificial más densa, responde más rápido y con picos mejor marcados, a pesar de que su cuenca presenta una forma más alargada que las otras dos, lo cual, por el contrario, hubiese debido retardar el flujo (Figura 11). Parece deducirse que, sin menospreciar el papel que juegan los obstáculos, las redes de drenaje aumentan la velocidad de tránsito hasta el punto de desagüe.

1.3. CONTRAINTES SUR LES RIVIERES

1.3.1. DRAINAGE ET CHENALISATION

■ Drainage

Plusieurs études ont été réalisées dans les Hautes-Fagnes où des réseaux de drains fort denses ont été creusés notamment pour assécher des tourbières en vue de planter des épicéas. Ainsi, déjà en 1951, Sporck a étudié l'évolution des débits du Ruisseau de la Gileppe depuis 1880 jusqu'en 1947, et a montré que les coefficients annuels d'écoulement variaient du simple au double, de 0,36 à 0,71 pour une moyenne égale à 0,55. L'analyse de ces coefficients laisse apparaître une évolution qui se traduit tout d'abord par une augmentation du coefficient d'écoulement, depuis 1890 jusqu'en 1910, suivie par une diminution progressive jusqu'en 1930 et un retour à la valeur initiale. Cette évolution résulte de modifications dans le mode d'écoulement des eaux qui sont survenues à la suite des travaux d'assainissement réalisés dans les fagnes du bassin de la Gileppe en vue de la plantation d'épicéas. Mais cette évolution serait plus le fait des travaux effectués en vue de cette transformation que du changement de couverture végétale lui même. Les fossés de drainage qui furent creusés créèrent en effet un réseau hydrographique artificiel extrêmement dense, accélérant ainsi l'écoulement des eaux et réduisant l'importance de l'évaporation. Mais au fil du temps, les épicéas comblèrent la plupart des fossés de telle sorte que l'écoulement des eaux à nouveau ralenti, a permis à l'évaporation de reprendre une importance quasi égale à sa valeur initiale. Et effectivement, la prolifération d'embâcles végétaux dans les drains augmentent la rugosité dans des proportions appréciables, (coefficient de Manning passant de 0,055 dans les systèmes sans embâcles à plus de 0,200 dans les systèmes avec embâcles), ce qui ralentit sensiblement le transfert à l'exutoire (Assani et Petit, 1995). Toutefois, Mbuyu (1989), en se basant sur une analyse comparative de trois bassins des Hautes-Fagnes qui fait appel aux hydrogrammes unitaires, a montré que la Helle, où le réseau de drainage artificiel est le plus dense, répond plus vite avec des pics mieux marqués, ceci en dépit du fait que ce bassin présente une forme plus allongée que celle des deux autres bassins, ce qui aurait dû au contraire retarder l'écoulement (Figure 11). Il semble donc que, sans nier le rôle de colmatage par les embâcles, les réseaux de drainage augmentent la vitesse de transfert à l'exutoire.

water table traced by a network of piezometers (Ancion, 1977). It results that even in a dry period the peat bogs only releases a small volume of water to the outlet, hardly 2 or 3% of the total storage, most of which is consumed by evapotranspiration. In fact, the actual evapotranspiration values carried out by Everbecq (1977), also in the Fagne Wallonne, show that in relation to the strong peat bog water retention the evapotranspiration can reach high levels (more than 5 mm/day). Mbuyu and Petit (1989) carried out a comparative assessment in two small basins in the Hautes-Fagne with different thickness of the alluvial peat. They have demonstrated a different pattern in the groundwater recharge, in other words during the period of refeeding. In response to rainfalls following an intense period of evapotranspiration, there is neither runoff nor subsurface flow in the basin where the thickness of the peat is important because the precipitations firstly reconstitute the water storage taken by evapotranspiration. Moreover, fluctuations of the water table traced by Wastiaux (1990) in a damaged peat bog reveal, although in the winter period, rapid oscillations of the water table resulting from precipitation. This happens only in the first fifteen centimetres. By contrast in the Summer period the water table varies strongly in relation to evapotranspiration, being the average annual amplitude nearly 50cm. In other terms the fluctuations of the water table in the peat bogs and, hence, the diminishing of the water reserves, are controlled by evapotranspiration and not by retrocession at the outlet in the form of baseflow.

► Straightening

In the framework of major works (as opposed to maintenance works), Agricultural Hydraulics (currently Department of unnavigable watercourses) has carried out two types of management on the rivers. It involves:

- cross-section modification which consists of a widening of the bed in such a way as to return to the supposed original profile;

Asimismo, diferentes estudios realizados en Hautes-Fagnes permiten comprender mejor el papel desempeñado por las turberas en la eventual regulación de los regímenes hidrológicos y mostrar el impacto de la degradación de estas turberas en el flujo. Así, se han relacionado los caudales medidos en períodos de agotamiento en el punto de desagüe de una turbera activa (la Fagne Wallonne) con las fluctuaciones del nivel freático reflejadas mediante una red de piezómetros (Ancion, 1977). Resulta que, incluso en período de sequía, las turberas ceden muy poca agua al desagüe de la cuenca, apenas un 2 ó 3% de las reservas totales, consumiéndose la mayor parte de estas últimas por evaporación. En efecto, las medidas de evapotranspiración real efectuadas por Everbecq (1977) muestran que, en relación con la fuerte retención de agua en las turberas, la evapotranspiración puede alcanzar valores muy elevados (más de 5 mm/día). Por otro lado, como resultado de un análisis comparativo efectuado en dos cuencas elementales de Hautes-Fagnes, que se diferencian principalmente en el espesor de la turba, Mbuyu y Petit (1989) han mostrado un comportamiento diferente durante la recarga, es decir, en período de realimentación. En efecto, ante precipitaciones producidas tras un período de intensa evapotranspiración, en la cuenca con espesor de turba importante no se produce flujo rápido de crecida, destinándose prioritariamente el agua de lluvia a reconstituir el stock de agua solicitado por la evapotranspiración. Por otra parte, las fluctuaciones del nivel freático medidas por Wastiaux (1990) en una turbera degradada muestran bien a las claras que, en período invernal, el manto sufre oscilaciones rápidas como respuesta a las precipitaciones, pero únicamente en los quince primeros centímetros. Por el contrario, en período estival, el manto varía fuertemente en relación con la evapotranspiración, alcanzándose una variación media anual en los piezómetros de cerca de 50 cm. En otras palabras, las fluctuaciones del nivel freático en las turberas y su consiguiente disminución de reservas de agua están controladas por la evapotranspiración y no tanto por la acción del flujo base.

► Rectificación

En el ámbito de los trabajos extraordinarios (por oposición a los trabajos de mantenimiento), la actual División de Ríos no navegables ha realizado dos tipos de actuaciones en los ríos cuya gestión desempeña. Se trata de:

- labores de reperfilado de la sección que consisten en un ensanchamiento del lecho, de manera que se obtenga un perfil supuestamente original.

De même, différentes études réalisées dans les Hautes-Fagnes permettent de mieux cerner le rôle joué par les tourbières sur l'éventuelle régulation des régimes hydrologiques et de voir l'impact de la dégradation de ces tourbières sur l'écoulement. Ainsi les débits mesurés en période de tarissement à l'exutoire d'une tourbière active (la Fagne Wallonne), ont été mis en relation avec les fluctuations de la nappe suivies grâce à tout un réseau de piézomètres (Ancion, 1977). Il en résulte que même en période de sécheresse les tourbières ne rétrocèdent finalement que peu d'eau à l'exutoire du bassin, à peine 2 ou 3% du montant des réserves, l'essentiel de ces dernières étant consommé par évapotranspiration. Et de fait, les mesures d'évapotranspiration réelle effectuées par Everbecq (1977), également dans la Fagne Wallonne, montrent bien qu'en relation avec la forte rétention en eau dans les tourbières, l'évapotranspiration peut y atteindre des montants très élevés (plus de 5 mm/j). Par ailleurs, à l'issue d'un bilan comparatif effectué dans deux bassins élémentaires des Hautes-Fagnes se différenciant notamment par l'épaisseur de la tourbe, Mbuyu et Petit (1989) ont montré un comportement différent à la recharge, c'est à dire en période de réalimentation. En effet, en présence de précipitations succédant à une période d'intense évapotranspiration, il ne se déclenche pas d'écoulement rapide de crue dans le bassin où l'épaisseur de tourbe est importante, les précipitations servant prioritairement à reconstituer le stock d'eau sollicité par l'évapotranspiration. D'autre part, les fluctuations du niveau de la nappe suivies par Wastiaux (1990) dans une tourbière dégradée, montrent bien qu'en période hivernale la nappe subit des oscillations rapides en réponse aux précipitations, mais ceci seulement dans les quinze premiers centimètres. Par contre en période estivale, la nappe varie fortement en relation avec l'évapotranspiration, l'amplitude moyenne annuelle dans les piézomètres atteignant près de 50 cm. En d'autres termes, les fluctuations de la nappe dans les tourbières et, partant, la diminution des réserves en eau, sont commandées par l'évapotranspiration et non par une rétrocession à l'exutoire sous forme d'un écoulement de base.

► Rectification

Dans le cadre de travaux extraordinaires (par opposition aux travaux d'entretien), l'Hydraulique agricole (actuellement Division des Cours d'eau non navigables) a réalisé deux types d'opération sur les rivières dont elle était gestionnaire. Il s'agit:

- de remises sous gabarit (reprofilages) qui consistent en un élargissement du lit de manière à obtenir un profil supposé originel;

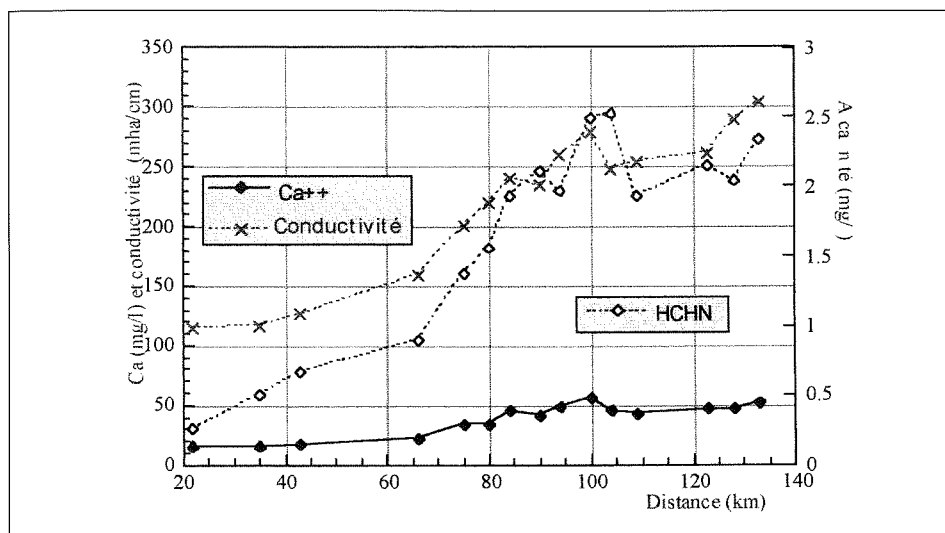


Figure 8. Chemical profil of the Ourthe (Philippart, 1977)

Figura 8. Perfil químico del Ourthe (Philippart, 1977)

Figure 8. Profil chimique de l'Ourthe (Philippart, 1977)

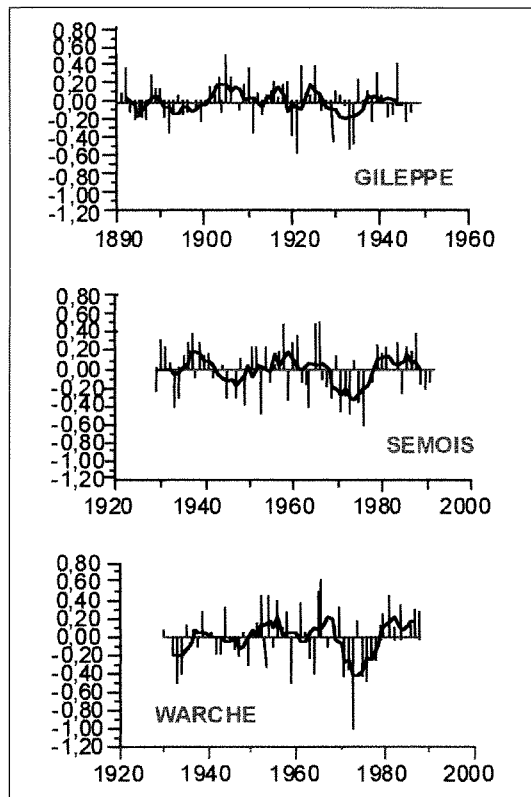


Figure 10. Inter-annual variation of the average discharge of the Gileppe, the Semois and the Warche (data screened, see text for explanation); discharge of the Gileppe based on Sporck (1947); discharge of the Semois at Membre arrived at by the MET-SETHY; series of discharge of the Warche from Assani (1997).

Figura 10. Variación interanual de los caudales medios del Gileppe, del Semois y del Warche (datos filtrados, ver texto para explicación); caudales del Gileppe en base a datos de Sporck (1947); caudales del Semois en Membre comunicados por el MET-SETHY; serie de caudales del Warche según Assani (1997).

Figure 10. Variation interannuelle des débits moyens de la Gileppe, de la Semois et de la Warche (données filtrées, voir texte pour explication); débits de la Gileppe sur base des données de Sporck (1947); débits de la Semois à Membre communiqués par le MET-SETHY; série des débits de la Warche d'après Assani (1997).

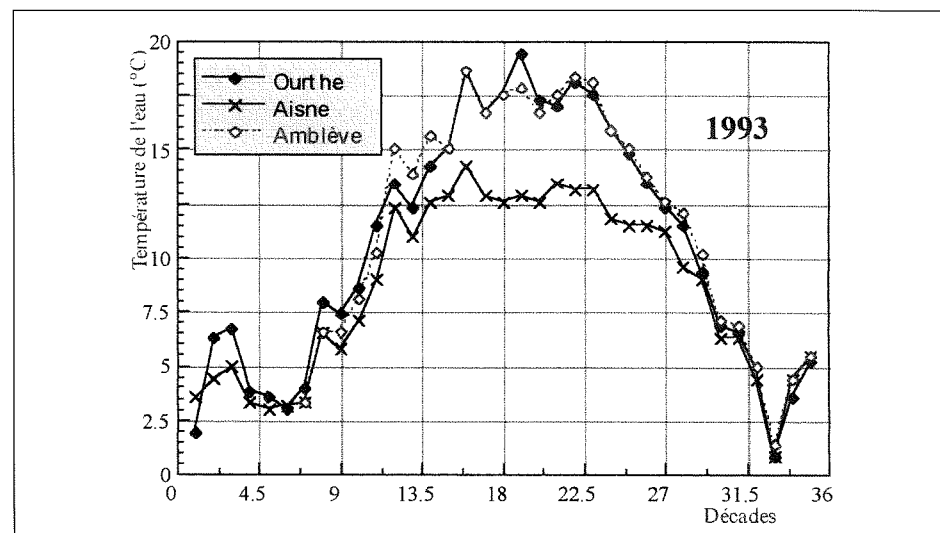


Figure 9. Thermal regime the Ourthe, Ambève and Aisne (in 1993)

Figura 9. Régimen térmico del Ourthe, del Ambève y del Aisne [1993]

Figure 9. Régime thermique de l'Ourthe, de l'Ambève et de l'Aisne [en 1993]

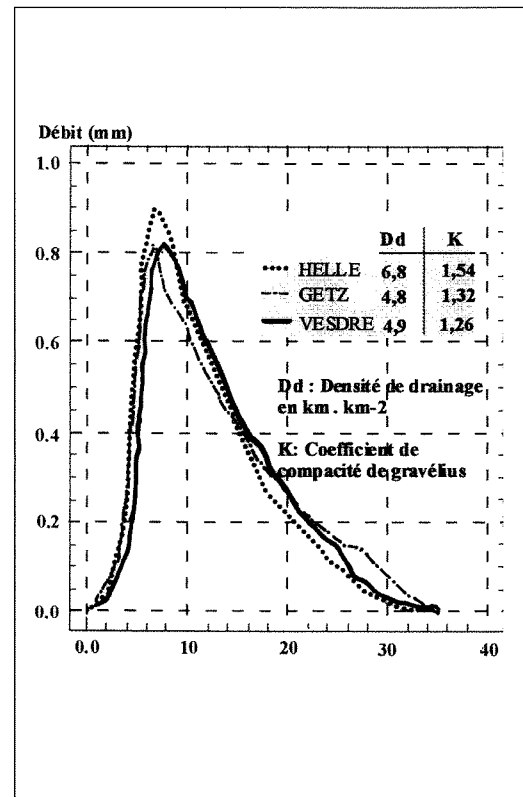


Figure 11. Unit hydrograph of the Helle, Getz and Vesdre, indicating the drainage density of basin and the Gravelius capacity coefficient (Mbuyu, 1989)

Figura 11. Hidrogramas unitarios del Helle, del Getz y del Vesdre, con indicación de la densidad de drenaje de cada una de las cuencas y del coeficiente de compacidad de Gravelius (según Mbuyu, 1989)

Figure 11. Hydrogramme unitaire de la Helle, de la Getz et de la Vesdre, avec en cartouche la densité de drainage de chacun des bassins et le coefficient de compacité de Gravelius (d'après Mbuyu, 1989)

- straightening of the river path involving the cutting of a new bed, on a shorter plan than the old one, with more frequent recutting of the meanders and sinuities.

The GIREA drew up in 1982 a survey of its works and reported, for the Ourthe basin, cross-section modifications on the Warche, the Warchienne and the Salm. However other works had taken place, notably in 1971 on the Western Ourthe (Staner, 1976).

Two clarifications have to be provided concerning the straightening work. First of all they were carried out for the greater part in the 1970s and the beginning of the 1980s. Moreover the most significant works dealt with small rivers. Thus, Pauquet (1992) drew up a survey of the various works on the navigable Ourthe since 1971 and found no trace of river path straightening works.

1.3.2. DAMS

The construction of dams is closely related to the navigation of the Ourthe (Dalem and Nelissen, 1973). The origin of the latter is not known. The presence of hamlets and the indispensable exchange of goods have given rise to the waterways thanks to the floating method since the most distant times. Since the 10th century the presence of convents and abbeys in the region have favoured navigation through the cutting of rivers and their upkeep. We know moreover that around 1800 the Ourthe was floatable downstream of the confluence of its two arms at Laroche. Downstream, it became navigable thanks to the existence of 11 water mill weirs. These pretty rudimentary dams did not lead to an easy navigation, except for small boats named "bêchêtes", 24 m long, 2.2 m wide, and with 40 cm of depth.

There were numerous reasons for resorting to waterways: at the time they linked Liège, a great commercial centre, to important centres of production, mining, or material preparation, unlike the roads, at times dangerous, which linked significant places located on the plateau. In order to use their energy, furnaces and forges drew closer to ore mining areas situated along the Ourthe, to the detriment of huge wood reserves used for burning. The transport of this material was carried out on "bêchêtes", able to carry up to 10,000 kg. Most downstream dams had navigation channels, unlike upstream

- rectificaciones del curso, que consisten en la excavación de un nuevo lecho, con trazado más corto que el antiguo, generalmente con corta de meandros y de sinuosidades.

El GIREA ha llevado a cabo en 1982 un inventario de estos trabajos, habiendo catalogado, en la cuenca del Ourthe, las modificaciones de sección transversal en el Warche, en el Warchienne y en el Salm. No obstante, principalmente en 1972, se han producido otras obras en el Ourthe inferior (Staner, 1976).

Hay que realizar dos precisiones en relación con los trabajos de rectificación. En primer lugar, la mayor parte de ellos se ha realizado en los años setenta y en el comienzo de los ochenta. Por otra parte, las rectificaciones más importantes han afectado a ríos de dimensión modesta. Así, Pauquet (1992) ha elaborado un catálogo de las intervenciones de todo tipo realizadas en el tramo navegable del Ourthe desde 1971 sin encontrar indicios de trabajos de rectificación del curso.

1.3.2. PRESAS

La construcción de presas en el río está estrechamente ligada a la navegación en el Ourthe (Dalem y Nelissen, 1973). El origen de esta última no es conocida. La presencia de aldeas y el indispensable intercambio de productos ha debido de suscitar, desde los tiempos más remotos, la utilización de la vía de agua gracias al método de flotación. Desde el siglo X, la presencia en la región de conventos y abadías ha debido favorecer la navegación profundizando los ríos y manteniéndolos. Se sabe por otro lado que, en 1800, el Ourthe era flutable aguas abajo de la confluencia de sus dos brazos hasta Laroche y que, aguas abajo de esta ciudad, se convertía en navegable gracias a la existencia de 11 diques de molinos. Estas presas bastante rudimentarias no permitían, a través de sus pasos estrechos, más que la navegación dificultosa de pequeñas embarcaciones denominadas "bêchêtes", de 24 metros de largo, 2,2 metros de ancho y 40 cm de calado.

Las razones de recurrir a la vía navegable son múltiples: enlazaba Lieja, gran centro comercial de la época, con puntos importantes de producción, extracción o preparación de materias, en lugar de las carreteras, a veces poco seguras, que enlazan las localidades importantes a través de zonas altas. Desde el siglo XIII, los hornos y las forjas se acercaron a los ríos a fin de explotar las zonas de extracción de mineral situadas a lo largo del Ourthe, con objeto de utilizar su energía en detrimento de

- de rectifications de cours qui consistent en un creusement d'un nouveau lit, au tracé plus court que l'ancien, avec le plus souvent recoupement de méandres et de sinuosités.

Le GIREA a dressé en 1982 un inventaire de ces travaux et répertoriait, pour le bassin de l'Ourthe, des reprofilages sur la Warche, la Warchienne et la Salm. Toutefois d'autres travaux ont eu lieu, notamment en 1972 sur l'Ourthe occidentale (Staner, 1976).

Deux précisions sont à apporter concernant les travaux de rectifications. Tout d'abord, ils ont été réalisés pour la plupart dans les années septante et au début des années quatre-vingt. Par ailleurs, les rectifications les plus importantes ont touché des rivières de dimension modeste. Ainsi, Pauquet (1992) a dressé un catalogue des interventions de toute nature réalisées sur l'Ourthe navigable depuis 1971 sans trouver trace de travaux de rectifications du cours.

1.3.2. BARRAGES

L'édification de barrages sur la rivière est étroitement liée à la navigation sur l'Ourthe (Dalem et Nelissen, 1973). L'origine de cette dernière n'est pas connue. La présence de hameaux et l'indispensable échange de produits a dû susciter des les temps les plus reculés le recours à la voie d'eau grâce à la méthode de flottage. Dès le Xe siècle, la présence dans la région de couvents et d'abbayes a dû favoriser la navigation en creusant les rivières et en les entretenant. Nous savons par ailleurs qu'en 1800, l'Ourthe était flutable en aval de la confluence de ses deux bras jusque Laroche et qu'en aval de cette ville, elle devenait navigable grâce à l'existence de 11 digues de moulins. Ces barrages assez rudimentaires n'autorisaient à travers des pertuis de navigation qu'une navigation malaisée pour petits bateaux nommés bêchêtes ayant de 24 mètres de long pour 2,2 mètres de large et 40 cm d'enfoncement.

Les raisons de recourir à la voie navigable sont multiples: elle relie à l'époque Liège, grand centre commercial à des points importants de production, d'extraction ou de préparation de matière, au contraire des routes, parfois peu sûres, qui relient des localités importantes en demeurant sur les crêtes. Afin d'utiliser leur énergie, les fourneaux et les forges se rapprochèrent des cours d'eau dès le XIIIe siècle afin d'exploiter les zones d'extraction de minerai situés le long de l'Ourthe, au détriment des imposantes réserves de bois utilisées comme

dams where transfer of merchandise from one side to the other became necessary. Apart from dams, vennes were built, dikes hindering passage for a short while and destined, during the fishing season, to hold up fish so that they may be caught. They also helped the drying of zones in the low water period before being destroyed at the beginning of Winter.

The "bèthchètes" take their name from round sharp edges at their ends. This very accentuated curve was required to ride rough currents created in the passages of the dams and of the "vennes". Horses dragged the boats along the towpath to row upstream and settled in directly at the front of the boat to row downstream. It is so dangerous to go trough downstream that the navigation upstream could only be envisaged with a light load. The presence of crosses along the riverbanks testifies to the dangerous currents and to looters which demanded rights of passage, as well as to numerous shipwrecks. The last "bèthchètes" stopped navigating the Ourthe after 1859.

The evolution of the course for navigation purposes had two major stages. The first extremely ambitious project involves linking the Meuse-Rhin via the Moselle. Many projects were proposed from 1628 onwards, then Napoléon had carried out the study of a canal joining the Meuse, the Escaut and the Rhin. The first part of these works were realised before their interruption by the Dutch.

Between 1815 and 1830 Belgium and the Grand Duchy of Luxembourg found themselves under Dutch rule, a favourable background for the creation of a society charged with developing Luxembourg and its raw materials, especially by the building of a canal linking the Meuse and Rhin with the Ourthe, Sure and Moselle. Works began in 1827 on a project of huge proportions: a canal of 263 km for boats of 60 tonnes, with 215 locks. The project was separated into three parts

- From Liège up until the confluence of the two 'Ourthes': the creation of dams and 81 locks, 20 m long and 3.5 m wide, gate-houses and a towpath. Many tunnels had to be drilled through as well.
- A "luxemburgian" section linking the Moselle to the Troyne by the Sûre. The 103 m fall had to be got through by 43 locks.
- The third section, started before the second, forming the junction between the watersheds of Meuse-Rhin by the building a dividing reach involving principally a tunnel of 2,528 m situated 60 m under the climbs.

Understanding the hazardous nature of navigation in the Ourthe delta before its confluence with the Meuse, significant deepening and straightening works were planned. Stopped by

las imponentes reservas de madera utilizadas como combustible. El transporte de estas materias se llevaba a cabo en "bèthchètes" que podían cargar hasta 10.000 kg. La mayor parte de las presas de aguas abajo poseían pasos de navegación, mientras que en las presas situadas aguas arriba se hacía necesario el transbordo de las mercancías de un lado al otro. Además de las presas, se construyeron "vennes", una especie de diques que dificultaban momentáneamente el paso y que estaban destinadas, en época de pesca, a retener los peces para capturarlos. Permitían igualmente la desecación de determinadas zonas en período seco, antes de ser destruidas al comienzo del invierno.

Las "bèthchètes" deben su nombre a la forma puntiaguda de sus extremos. La curvatura muy acentuada es indispensable para afrontar con éxito las importantes ondulaciones creadas en los pasos de presas y de "vennes". Para remontar el río se utilizaban caballos que arrastraban las embarcaciones a lo largo de caminos de sirga, instalándose directamente delante de la embarcación en el descenso. La maniobra de paso es tan peligrosa en el descenso como en la remontada y no se puede plantear más que con una pequeña carga. La presencia de cruces a lo largo de las márgenes sirve de testimonio de los peligros de las olas o de los ladrones que reclamaban derechos de paso, así como de numerosos naufragios. Las últimas "bèthchètes" del Ourthe dejaron prácticamente de navegar después de 1859.

La evolución del trazado con fines de navegación ha conocido dos etapas importantes. El primer proyecto extremadamente ambicioso se refiere al enlace Mosa-Rhin a través del Mosela. Desde 1628 se propusieron varios proyectos; posteriormente, Napoleón mandó hacer el estudio de un canal que uniese el Mosa, el Escaut y el Rhin. Se realizaron varios trabajos en la primera parte, antes de ser interrumpidos por los holandeses.

Entre 1815 y 1830, Bélgica y el Gran Ducado de Luxemburgo se encuentran bajo la autoridad holandesa, con un clima favorable para la creación de una Sociedad encargada de desarrollar Luxemburgo y sus materias primas, principalmente mediante la realización de un Canal que conectase el Mosa y el Rhin a través del Ourthe, el Sûre y el Mosela. En 1827 se comenzaron los trabajos de lo que debía ser una obra gigantesca: un canal de 263 km, con 215 esclusas, para barcos de 60 toneladas. Proyecto dividido en tres partes:

- Desde Lieja a la confluencia de los dos Ourthe: construcción de presas y de 81 esclusas de 20 metros de largo y 3,5 metros de ancho, con sus correspondientes edificios de control, así como un camino de sirga. Además, se debían perforar varios túneles.

combustible. Le transport de ces matières s'effectuait sur des "bèthchètes" pouvant charger jusqu'à 10.000 kg. La plupart des barrages en aval possédaient des pertuis de navigation, au contraire des barrages en amont où un transbordement des marchandises d'un côté à l'autre s'avérait nécessaire. Outre les barrages, des "vennes" furent construites, digues entravant momentanément le passage et destinées, en saison de pêche à retenir le poisson pour le capturer. Elles permettaient également la mise à sec de zones en période sèche avant d'être détruites en début d'hiver.

Les bèthchètes doivent leur nom aux pointes prononcées à leurs extrémités. La courbure très accentuée est indispensable pour affronter les flots tumultueux créés dans les passes de barrages et de vennes. Des chevaux traînent les bateaux à la remontée le long des chemins de halage et s'installent directement à l'avant du bateau à la descente. La manœuvre de passage est déjà si périlleuse à la descente qu'à la remontée elle ne peut être envisagée qu'avec une faible charge. La présence de croix le long des berges témoigne des dangers des flots ou des pillards qui réclamaient des droits de passage ainsi que des nombreux naufrages. Les dernières bèthchètes de l'Ourthe cessèrent pratiquement de naviguer après 1859.

L'évolution du tracé à des fins de navigation a connu deux étapes majeures. Le premier projet extrêmement ambitieux concerne la liaison Meuse-Rhin par la Moselle. Plusieurs projets furent proposés dès 1628, puis Napoléon fit effectuer l'étude d'un canal joignant la Meuse, l'Escaut et le Rhin. Des travaux furent réalisés sur la première partie avant d'être interrompus par les Hollandais.

Entre 1815 et 1830, la Belgique et le Grand-Duché de Luxembourg se trouvent sous la férule hollandaise, climat favorable pour la création d'une Société chargée de valoriser le Luxembourg et ses matières premières notamment par la réalisation d'un Canal réunissant Meuse et Rhin par l'Ourthe, la Sure et la Moselle. Les travaux débutèrent en 1827 pour réaliser ce qui devait être une réalisation gigantesque: un canal de 263 kilomètres pour bateaux de 60 tonnes, avec 215 écluses, projet séparé en trois parties:

- De Liège à la confluence des deux Ourthe: création de barrages et de 81 écluses de 20 mètres de long pour 3,5 mètres de large, des maisons éclusières et un chemin de halage. Plusieurs tunnels devaient en outre être percés.
- Un tronçon "luxembourgeois" de 73 kilomètres reliant la Moselle à la Troyne par la Sûre. La chute de 103 m devait être rachetée par 43 écluses.

the Belgian revolution of 1830 the works were never completed and it is still possible to see today the largest part of the lock houses, as well as the vestiges of work on the locks and the dividing reach tunnel, partially dug.

Competition by land communication and railways subsequently held up the resumption of the project. Studies were limited to a section between Liège and Laroche. In 1846 a new society was created and decided to wipe clean all the work already done in order to focus on a new route. The canalisation of the Ourthe bed was abandoned in order to use only the deepest and least turbulent sections. The rest consisted of a canal "parallel" to the river. In order to achieve a minimum anchorage of 1.2 m, 11 fixed dams were planned for the river. From this period of work, disrupted by the industrial crisis of 1848, arose a short complete canal from downstream (locks, moveable locks, canalised sections) to just upstream of the Amblève confluence; the lock houses can still be seen, while some reaches are filled up. Upstream of Comblain-au-Pont the Ourthe was never canalised. Since 1892 the interest on the canal started to decrease. Some downstream sections were used again during the 1940-45 war.

►► Geomorphology and sedimentology

The Robertville dam was built on the Warche in 1930 to produce electricity. In order to maintain sufficient volumes of water in this reservoir, a second dam (the Butgenbach) was erected some years later, 7 km upstream. During the Winter period almost daily releases are carried out from the Butgenbach dam. From the hydrological point of view, the result is a significant lessening of discharges higher than bank-full discharge (divided at least by ten), by dampening peak floods (the maximum discharge of releases downstream of the

- Un tramo luxemburgués de 73 km para conectar el Mosela con el Troyne por el Sûre. El desnivel de 103 m debía ser salvado mediante 43 esclusas.
- El tercer tramo, conectado con el segundo, realizaba la unión entre las vertientes del Mosa y del Rhin mediante la construcción de un tramo de trasvase que comprendía, entre otras cosas, un túnel de 2.528 m situado a 60 m por debajo de la divisoria.

Habida cuenta de la navegación dificultosa en el delta del Ourthe antes de su confluencia con el Mosa, se habían proyectado importantes obras de profundización y rectificación. Paralizadas con motivo de la revolución belga de 1830, las obras no se han terminado nunca, siendo posible hoy día ver la mayor parte de los edificios de control de las esclusas así como restos de algunas esclusas y el túnel de trasvase parcialmente excavado.

La competencia de las carreteras y de los ferrocarriles ha impedido reconsiderar la continuación del proyecto. Los estudios se han limitado a un tramo entre Lieja y Laroche. En 1846 se crea una nueva Sociedad, que decide hacer tabla rasa de todas las obras realizadas hasta el momento y potenciar un nuevo trazado: se abandona el encauzamiento del lecho del Ourthe, no utilizando nada más que las partes más profundas y menos tortuosas; el resto está constituido por un canal paralelo al río. Con el fin de obtener un calado mínimo de 1,2 metros, se planteó la construcción de 11 presas fijas en el río. De este período de obras, perturbadas por la crisis industrial de 1848, queda un pequeño tramo del canal desde aguas abajo (esclusas, puentes móviles, tramos canalizados) hasta justo aguas arriba de la confluencia del Amblève, con edificios de control de esclusas que aún subsisten, mientras que algunos tramos se han aterrado. Aguas arriba de Comblain-au-Pont, el Ourthe no fue canalizado nunca. Desde 1892 se manifestó una falta de interés por el canal. Algunos tramos de aguas abajo fueron todavía utilizados durante la guerra 1940-45.

►► Punto de vista geomorfológico y sedimentológico

La presa de Robertville fue construida en el Warche en 1930 con objeto de producir energía eléctrica. Con el fin de mantener un volumen de agua suficiente en este embalse, algunos años más tarde se construyó una segunda presa (la de Butgenbach) 7 km aguas arriba de la primera; durante el período invernal se realizan desembalses casi cotidianos desde el embalse de Butgenbach. De ello se deriva, desde el punto de vista hidrológico, una disminución significativa de la frecuencia de caudales superiores al de sección llena (dividida al menos

- Le troisième tronçon, entamé avant le second, réalisait la jonction entre les versants Meuse-Rhin par la construction d'un bief de partage comprenant entre autres un tunnel de 2.528 m situé 60 mètres sous la crête.

Compte tenu de la navigation malaisée dans le delta de l'Ourthe avant sa confluence avec la Meuse, d'importants travaux d'approfondissement et de rectification étaient projetés. Arrêtés à la révolution belge de 1830, les travaux n'ont jamais été achevés et il est encore possible de voir aujourd'hui la plupart des maisons éclusières construites ainsi que des vestiges de travaux d'écluses ainsi que le tunnel du bief de partage, partiellement creusé.

La concurrence des voies de communication terrestre et de la voie de chemin de fer a empêché la reprise du projet par la suite. On limite alors les études à un tronçon entre Liège et Laroche. En 1846, une nouvelle Société est créée, qui décide de faire table rase de tous les travaux alors réalisés pour privilégier un nouveau tracé: on abandonne la canalisation du lit propre de l'Ourthe pour ne plus utiliser que les parties les plus profondes et les moins tourmentées: le reste est constitué par un canal "parallèle" au cours d'eau. Afin de réaliser un mouillage minimum de 1,2 mètres, 11 barrages fixes sont prévus en rivière. De cette période de travaux, perturbés par la crise industrielle de 1848, il demeure une courte réalisation complète du canal à l'aval (écluses, ponts mobiles, tronçons canalisés) jusqu'en amont de la confluence avec l'Amblève, avec des maisons éclusières qui subsistent alors que certains tronçons ont été comblés. En amont de Comblain-au-Pont, l'Ourthe ne fut jamais canalisée. Dès 1892, les prémices d'une désaffection du Canal se manifestèrent. Certains tronçons aval furent encore utilisés durant la guerre 1940-45.

►► D'un point de vue géomorphologique et sédimentologique

Le barrage de Robertville a été édifié sur la Warche en 1930 en vue de produire de l'électricité. Afin de maintenir un volume d'eau suffisant dans cette retenue, un second barrage (celui de Butgenbach) a été érigé quelques années plus tard, 7 km en amont; pendant la période hivernale, des lâchés quasi quotidiens sont ainsi effectués à partir du barrage de Butgenbach. Du point de vue hydrologique, il en résulte une diminution significative de la fréquence des débits supérieurs au débit à pleins

Butgenbach dam is often 50% smaller than expected flows without this dam) but above all by a significant increase in the discharges of $0.6 Q_b$ (the number of days when this discharge occurs has been multiplied by 50). Assani (1997) has studied the impact of these hydrological regime modifications on the morphology and sedimentology of the Warche downstream of the Butgenbach dam. The following morphological modifications have been evidenced: a doubling of the width of the channel in 45 years, a lessening in the number of riffles and pools, an increase in the number of gravel bars, islets and bedrock outcrops in the channel. Moreover the impact of releases on the sedimentology and the competency of the river induces:

- a very significant increase in the size of the bed material (the value of D_{50} upstream of the dam is three times smaller than the material downstream of the dam) as a result of the erosion of small particles and fine material caused by almost daily releases,
- a progressive disappearance of the vertical stratification of layers as a result of the erosion of fine elements in the sublayer,
- a good sorting of materials as a consequence of the erosion of these fine materials (the Otto sorting index is 0.73 downstream of the dam versus 1.39 upstream),
- a weak longitudinal reduction gradient of the size of the material due to the increase of the river competency; this results in diminution of the bed roughness due to the reduction of sinuosity and the progressive disappearance of the bed differentiation in riffles/pools sequences.

Ecological effects

The Angleur dam was built in 1905 in the lower course of the Ourthe almost 2 km from the confluence with the Meuse. Despite its relatively small height (5 m), it was a major obstacle to the migration of adult Atlantic salmon running back to the major reproduction area of Ourthe-Amblève (Denil, 1909). The construction of a fish ladder of a "Denil" type in 1909 reduced its impact on fish population but didn't eradicate it. Even nowadays, the Angleur dam, to which was joined an hydroelectric micro-powerplant was added in the 1980s, hampers consid-

por 10), por la laminación de las avenidas (los caudales máximos de las crecidas evacuadas aguas abajo de la presa de Butgenbach representan a menudo menos del 50% de los caudales en régimen natural) y sobre todo un aumento significativo de la frecuencia de los caudales que representan $0,6 Q_b$ (el número de días en que se produce este caudal se ha multiplicado por 50). Assani (1997) ha estudiado el impacto producido por estas modificaciones del régimen hidrológico en la morfología y en la sedimentología del lecho del Warche aguas abajo de la presa de Butgenbach. Se han puesto de manifiesto las siguientes modificaciones morfológicas: un aumento del 100% de la anchura del cauce en 45 años, una disminución del número de rápidos y de pozas, un aumento del número de bancos de guijarros, de islotes y de afloramientos rocosos en el lecho menor. Por otro lado, el impacto de los desembalses en la sedimentología y capacidad del río queda reflejado en:

- un aumento muy importante del tamaño del material constitutivo del lecho (el valor de D_{50} aguas arriba de la presa es tres veces inferior al de aguas abajo) como consecuencia de la erosión de los elementos de pequeño calibre y de las partículas finas debida a los desembalses casi cotidianos,
- una desaparición progresiva de la estratificación vertical de las capas como consecuencia de la erosión de elementos finos en profundidad,
- una buena selección de los materiales derivada de la erosión de estos materiales finos (el índice de clasificación de Otto es de 0,73 aguas abajo de la presa y de 1,39 aguas arriba de la misma),
- un gradiente pequeño de reducción longitudinal del tamaño de los materiales debido al aumento de capacidad del río; ello se deriva de la disminución de la rugosidad del lecho debida a la reducción de la sinuosidad y a la desaparición progresiva de la diferenciación del lecho en rápidos y pozas.

Incidencias ecológicas

La presa de Angleur, construida en 1905 en el curso inferior del Ourthe a unos 2 km de la confluencia con el Mosa, constituyó, a pesar de su altura relativamente pequeña (5 m), un obstáculo importante a la migración ascendente del salmón atlántico adulto en el gran área de reproducción del Ourthe-Amblève (Denil, 1909). La construcción en 1909 de una escala de peces del tipo "Denil" redujo su impacto ecológico y piscícola pero no lo eliminó. Aún en nuestros días, la presa de Angleur, a la que se le ha añadido una microcentral hidroeléct-

bords (divisé au moins par dix), par un écrêtement des crues (les débits maximums des crues lâchés en aval du barrage de Butgenbach représentent souvent moins de 50% des débits qui auraient été observés en l'absence de ce barrage) mais surtout par une augmentation significative de la fréquence des débits représentant $0,6 Q_b$ (le nombre de jours où ce débit apparaît a été multiplié par cinquante). Assani (1997) a étudié l'impact de ces modifications du régime hydrologique sur la morphologie et la sédimentologie du lit de la Warche en aval du barrage de Butgenbach. Les modifications morphologiques suivantes ont été mises en évidence: un doublement de la largeur du chenal en 45 ans, une diminution du nombre de seuils et de moulles, une augmentation du nombre des bancs caillouteux, des îlots et d'affleurements rocheux dans le lit mineur. Par ailleurs, l'impact des lâchés sur la sédimentologie et la compétence de la rivière se traduit par:

- une augmentation très importante de la taille du matériel constituant le lit (la valeur du D_{50} en amont du barrage est en effet trois fois inférieure à celle du matériel en aval du barrage) consécutive à l'érosion des éléments de petit calibre et des particules fines provoquée par les lâchés quasi quotidien,
- une disparition progressive de la stratification verticale des couches consécutive à l'érosion des éléments fins en profondeur,
- un bon triage des matériaux résultant de l'érosion de ces matériaux fins (l'indice du triage d'Otto est de 0,73 en aval du barrage contre 1,39 en amont),
- un faible gradient de réduction longitudinale de la taille des matériaux dû à l'augmentation de la compétence de la rivière; elle résulte de la diminution de la rugosité du lit due à la réduction de la sinuosité et à la disparition progressive de la différenciation du lit en seuils et moulles.

Incidences écologiques

Le barrage d'Angleur, construit en 1905 dans le cours inférieur de l'Ourthe à environ 2 km du confluent avec la Meuse, fut, malgré sa hauteur relativement faible (5 m), un obstacle majeur à la migration de remontée du saumon atlantique adulte dans le grand domaine de reproduction de l'Ourthe-Amblève (Denil, 1909). La construction d'une échelle à poissons du type "Denil" en 1909 réduisit son impact écologique et piscicole mais ne le supprima pas. Encore de nos jours, le barrage d'Angleur, auquel a été adjointe une micro-centrale hydroélectrique dans

rably the movement and migration of fish from the Meuse, as it has been shown by studies carried out at the University of Liège on fish equipped with radio transmitters (Baras and Philippart, 1996). This physical obstacle will in any case be lifted before 2002 thanks to the construction of a modern fishway under the auspices of the "Meuse Saumon 2000" programme.

The dams of the Gileppe (1876, renovated in 1971) and Eupen (1949), built for the production of drinking water, are situated in a region of the basin where very acidic waters are lacking in fish. These dams have never been created ecological problems related to fish fauna. The problems above all concern the maintenance of optimal water quality with a view to making it drinkable (control of supplies of eutrophic nutrients, bacterial germs and pesticides resulting from agricultural use in certain lower watersheds).

The Robertville (1929) and Butgenbach (1932) dams on the Warche form a complex of private lakes-reservoirs given over to several functions: hydroelectricity, producing drinking water, water sports and fishing. These complexes undergo the effects usually associated with large dams: blocking fish migration, the transformation of a running water ecosystem to a stagnant water ecosystem, variations in the water level reducing the reproduction possibilities of various species of fish which lay eggs on vegetation. For a number of years it has been possible to observe an accentuation in the eutrophication process of the lakes, especially the Butgenbach lake which plays the role of decanting basin of waters coming from two water courses (Warche and Hoslwarche) which supply it. One of its results is a strong summer development of phytoplankton which contains notably blue-green algae of which some (*Anabaena*) are potentially toxic for both humans and fish (Wirsing and Hoffmann, 1977). Moreover, sedimentation of organic material on the bottom leads to the pronounced de-oxygenation of deep water during the Summer lake stratification. The lack of oxygen sporadically causes fish death.

The Nisramont dam was constructed on the Ourthe in 1958 for drinking water production and to sustain low water discharges of the river. It formed an insurmountable obstacle to the migration of fish population in this stretch of the river. It resulted in the local extinction of various species (eel, barbel) upstream of the dam. Eutrophication also marked the lake but with less intensity than in the lakes of Butgenbach and Robertville.

On the Amblève at Lorcé-Chevron there is, since the 1960s, a small dam supplying a forced conduit which passes across a hill and runs into an hydroelectric powerplant. This dam has two major effects on the ecology of the river: blocking

trica en los años ochenta, frena considerablemente la remontada en el Ourthe de los peces del Mosa, como bien lo ponen de manifiesto los estudios de la Universidad de Lieja mediante peces equipados con emisores de radio (Barras y Philippart, 1996). Este obstáculo físico debería estar sin embargo eliminado antes del 2002, gracias a la construcción de un paso migratorio moderno en el marco del programa 'Meuse Saumon 2000'.

Las presas del Gileppe (1876, remodelada en 1971) y de Eupen (1949), destinadas a abastecimiento de agua, están situadas en una zona de la cuenca en la que las aguas muy ácidas están desprovistas de peces. Estas presas no han planteado nunca problemas ecológicos relacionados con la fauna piscícola. Los problemas se han relacionado sobre todo con el mantenimiento de una calidad óptima del agua desde el punto de vista de su potabilización (control de la aportación de nutrientes, de gérmenes bacterianos y de pesticidas derivados de la utilización agrícola de algunas subcuencas vertientes).

Las presas de Robertville (1929) y de Butgenbach (1932) en el Warche forman un complejo de lagos-embalses privados de uso múltiple: hidroelectricidad, agua potabilizable, deportes náuticos y pesca. Este complejo soporta las incidencias habitualmente asociadas a las grandes presas: bloqueo de la migración de peces, transformación de un medio de agua fluyente en un medio de agua estancada, variaciones del nivel de agua que reducen las posibilidades de reproducción de ciertas especies piscícolas que efectúan sus puestas en la vegetación. Desde hace algunos años, se observa un incremento en el proceso de eutrofización de los embalses, sobre todo del de Butgenbach, que desempeña el papel de estanque de decantación de las aguas provenientes de los dos ríos (Warche y Hoslwarche) que lo alimentan. De ello se deriva un gran desarrollo estival del fitoplancton que contiene principalmente algas azules, algunas de las cuales (*Anabaena*) son tóxicas para el hombre y para los peces (Wirsing y Hofmann, 1997). Además, la sedimentación de la materia orgánica en el fondo lleva consigo la desoxigenación pronunciada del agua profunda durante el período de estratificación estival de los embalses. La falta de oxígeno ocasiona esporádicamente la muerte de peces.

La presa de Nisramont, situada en el Ourthe y finalizada en 1958, que tiene como finalidad la producción de agua potable y la regulación del estiaje del río, ha constituido un obstáculo infranqueable a la migración de la población piscícola del río. Ello ha traído como consecuencia la extinción de varias especies (anguila, barbo) en los ríos situados aguas arriba de la presa. Ha sufrido también problemas de eutrofización, aunque con menor intensidad que los embalses de Butgenbach y Robertville.

les années 80, freine considérablement la remontée dans l'Ourthe des poissons de la Meuse, comme le mettent bien en évidence les études de l'Université de Liège sur des poissons équipés d'émetteurs radio (Barras et Philippart, 1996). Cet obstacle physique devrait toutefois être levé avant 2002 grâce à la construction d'une passe migratoire moderne dans le cadre du programme 'Meuse Saumon 2000'.

Les barrages de La Gileppe (1876, rénové en 1971) et d'Eupen (1949), destinés à la production d'eau potable, sont situés dans une région du bassin où les eaux très acides sont dépourvues de poissons. Ces barrages n'ont jamais soulevé de problèmes écologiques liés à la faune des poissons. Les problèmes ont surtout concerné le maintien d'une qualité optimale d'eau en vue de la potabilisation (contrôle des apports de nutriments eutrophisants, de germes bactériens et de pesticides résulants de l'utilisation agricole de certains sous-bassins versants).

Les barrages de Robertville (1929) et de Butgenbach (1932) sur la Warche forment un complexe de lacs-réservoirs privés affectés à plusieurs fonctions: hydroélectricité, eau potabilisable, sports nautiques et pêche. Ce complexe subit les incidences habituellement associées aux grands barrages: blocage des migrations des poissons, transformation d'un milieu d'eau courante en un milieu d'eau stagnante, variations du niveau du plan d'eau réduisant les possibilités de reproduction de certaines espèces de poissons qui pondent sur la végétation. Depuis quelques années, on observe une accentuation du processus d'eutrophisation des lacs, surtout du lac de Butgenbach qui joue le rôle d'un bassin de décantation des eaux issues des deux cours d'eau (Warche et Hoslwarche) qui l'alimentent. Il en résulte un fort développement estival de phytoplancton qui contient notamment des algues bleues dont certaines (*Anabaena*) sont toxiques pour l'homme et pour les poissons (Wirsing et Hoffmann, 1997). De plus, la sédimentation de la matière organique sur le fond entraîne la désoxygénation prononcée de l'eau profonde pendant la période de stratification estivale des lacs. Le manque d'oxygène cause sporadiquement des mortalités de poissons.

Le barrage de Nisramont, achevé sur l'Ourthe en 1958 dans un but de production d'eau potable et de soutien d'étiage de la rivière, a constitué un obstacle infranchissable à la migration des poissons peuplant cette partie de la rivière. Il en est résulté une extinction de plusieurs populations (anguille, barbeau) dans les rivières en amont du barrage. L'eutrophisation a aussi touché le plan d'eau mais avec moins d'intensité que dans les lacs de Butgenbach et Robertville.

the migration of fish and strong pollution, leading to huge numbers of dead fish, caused in the downstream course at the time of emptying sludge sediment accumulated on the reservoir bottom.

Some ecological problems are also associated with many small dams with a touristic purposes (emptying of sludge sediment from the Vielsalm lake into the Salm) or an hydroelectric function (small powerplants at Raborive in the Amblève; powerplants in Cyl-Méry and in Angleur on the lower the Ourthe).

1.3.3. LOCALISED AND DIFFUSE POLLUTION

In the framework of the PEGASE programme (Smitz, 1991), localised (industrial and domestic) and diffuse (agricultural) pollution has been listed (and mapped in the Walonia Water Atlas) and quantified, as a basis for planning the drainage and purification of sewage water. The pollution has been evaluated in terms of Unit of Pollution Load (UPL).

Industrial pollution is principally localised (from 100 to 150 UCP/ha) in the Amblève basin (food-processing, tanning, metal industries, paper mills) and in the formerly strongly industrialised Vesdre basin (food-processing, paper mills, processing of non ferrous metals, and the wool industry in previous times). In the Ourthe basin industrial pollution is extremely weak (<10 UCP/ha) and is limited to some food-processing plants.

Domestic pollution is also very variable in the lower areas: high (4 to 20 EH/ha) in the densely populated Vesdre valley (the town of Verviers has more than 10,000 inhabitants), on the low side (2 to 3 EH/ha) in the Ourthe's valley downstream of its confluence with the Amblève, as well as in the Amblève valley and several areas upstream (Marche, Laroche, and very low (less than 1 EH/ha) in the rest of the basin.

The diffuse pollution is essentially due to agriculture. It results from the releases in the hydrographical network of organic waste produced by extensive cattle breeding and fertiliser and pesticides spread throughout the meadows and cultivated fields. There are values of 5 to 6 UCP/ha in the north east section of the basin (Amblève and Vesdre lower basins) and 3 to 4 UCP/ha in the rest of the basin.

En la localidad de Lorcé-Chevron, en el Amblève, existe, desde los años 60, una pequeña presa que alimenta una tubería forzada que pasa a través de una colina y desemboca en una central hidroeléctrica. Esta presa tiene dos incidencias importantes en la ecología del río: el bloqueo de las migraciones de peces y la fuerte polución, acompañada de mortandades masivas de peces, provocadas en el curso de aguas abajo con motivo de la evacuación de los fangos acumulados en el fondo del embalse.

Existen también problemas ecológicos asociados con otros pequeños embalses cuya finalidad es de tipo turístico (evacuación de fangos del embalse de Vielsam en el Salm) o hidroeléctrica (microcentrales de Raborive en el Amblève; centrales de Cyl-Méry y de Angleur en el bajo Ourthe).

1.3.3. CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y DIFUSA

En el marco del Programa PEGASE (Smitz, 1991), se han inventariado (cartografiándolas en el Atlas del Agua de Valonia) y cuantificado las contaminaciones puntuales (industriales y domésticas) y difusas (agrícolas), como base para la planificación del vertido y depuración de las aguas residuales. Estas contaminaciones se han evaluado en términos de Unidades de Carga Contaminante (UCC).

Las formas de contaminación industrial están localizadas principalmente (de 100 a 150 UCC/ha) en las subcuencas del Amblève (industrias agroalimentarias, papeleras, curtidos, industrias metálicas) y en la subcuenca del Vesdre (industrias agroalimentarias, papeleras, tratamiento de metales no férricos) no hace mucho fuertemente industrializada (industria de la lana). En la subcuenca del Ourthe, la contaminación industrial es extremadamente baja (< 10 UCC/ha) y se limita a algunas industrias agroalimentarias.

La contaminación doméstica es también muy variable según las regiones: fuerte (4 a 20 EH por hectárea) en el valle densamente poblado del Vesdre (población de Verviers con más de 10.000 habitantes), bastante baja (2 a 3 EH/ha) en la región del bajo Ourthe aguas abajo de la confluencia con el Amblève así como en el bajo Amblève y algunos municipios de aguas arriba (Marche, Laroche) y muy baja (menos de 1 EH/ha) en el resto de la cuenca.

La contaminación difusa es esencialmente de naturaleza agrícola y proviene de la llegada a la red hidrográfica de los desechos orgánicos producidos por la cría extensiva de ganado

Sur l'Amblève à Lorcé-Chevron existe, depuis les années 60, un petit barrage alimentant une conduite forcée qui passe à travers une colline et débouche dans une centrale hydroélectrique. Ce barrage a deux incidences majeures sur l'écologie de la rivière: le blocage des migrations des poissons et la forte pollution, accompagnée de mortalités massives de poissons, provoquée dans le cours aval lors de la vidange des boues réductrices accumulées dans le fond du réservoir.

Des problèmes écologiques sont aussi associés à plusieurs autres petits barrages à vocation touristique (vidange des boues du lac de Vielsalm sur la Salm) ou hydroélectrique (micro-centrales de Raborive sur l'Amblève; centrales de Cyl-Méry et d'Angleur sur la basse Ourthe).

1.3.3. POLLUTION PONCTUELLE ET DIFFUSE

Dans le cadre du Programme PEGASE (Smitz, 1991), les pollutions ponctuelles (industrielles et domestiques) et diffuses (agricoles) ont été répertoriées (et cartographiées dans l'Atlas de l'Eau de la Wallonie) et quantifiées, comme base à la planification de l'égouttage et de l'épuration des eaux usées. Ces pollutions ont été évaluées en terme d'Unités de Charges Polluante (UCP).

Les formes de pollution industrielle sont principalement localisées (de 100 à 150 UCP/ha) dans les sous-bassins de l'Amblève (industries agro-alimentaires, papeterie, tannerie, industrie des métaux) et dans le sous-bassin de la Vesdre (industries agro-alimentaires, papeterie, traitement des métaux non ferreux) naguère très fortement industrialisé (industrie de la laine). Dans le sous-bassin de l'Ourthe, la pollution industrielle est extrêmement faible (< 10 UCP/ha) et se limite à quelques industries agro-alimentaires.

La pollution domestique est aussi très variable selon les sous-régions: forte (4 à 20 EH par ha) dans la vallée de la Vesdre densément peuplée (agglomération de Verviers avec plus de 10.000 habitants), assez faible (2 à 3 EH/ha) dans la région de la basse Ourthe en aval du confluent avec l'Amblève ainsi que dans la basse Amblève et dans quelques communes de l'amont (Marche, Laroche) et très faible (moins de 1 EH/ha) dans le reste du bassin.

La pollution diffuse est essentiellement de nature agricole et provient de l'apport dans le réseau hydrographique des déchets organiques produits par l'élevage extensif des bovins et

The existence of large infrastructures (such as motorways) in the Ourthe basin should be noted, and these are a source of specific pollution (residual pollution from cars, salts and other by-products from snow clearing) in the form of localised dispersal (after storms), or more diffuse (fallout and cleaning) in the surface water network (Setra, 1980; Verniers *et al.*, 1988). Several roads in the Haute-Ardenne receive up to 5 kg/m² salt during snow clearing, which leads to chlorine content of 6g/l in the water entering the storm tanks.

1.3.4. FISHERIES

From the last century up to the end of the 1920s the fish of the Ourthe basin, and particularly the migratory fish such as the Atlantic salmon (Philippart, 1985, 1987), were extremely exploited by professional fishing. This was abolished in Belgium to the extent that today in the Ourthe, as well as other Belgian rivers, there is only recreational line fishing, which is publicly regulated (in waters classed as navigable: the Ourthe downstream of the Nisramont dam to its confluence with the Meuse; Amblève from Remouchamps down to the confluence with the Ourthe), or privately (all other streams). Philippart (1979b) carried out, in June-September 1974, a study of the catch of fish by recreational fishing activity in a 3.5 km (9.6 ha) stretch of the Ourthe at Hamoir. During the intense period of the fishing activity, captures by anglers reached 85 kg/ha due to an effort of 420 fishermen/ha. That represents an average catch of 2.5 kg each per season and 0.2 kg each per day. The biomass caught by anglers represents around 30% of the estimated exploitable population in the river, which represents a balanced situation on the whole. Captures concern mainly the dominant species in the community (cyprinids) but a tendency towards selective fishing of rare and more noble species, such as trout, grayling and pike can be detected, and this imbalances the structure of the fish community.

bovino y de los abonos y pesticidas extendidos sobre las praderas y campos cultivados. La carga contaminante es de 5 a 6 UCC/ha en el nordeste de la cuenca (subcuencas del Amblève y del Vesdre) y de 3 a 4 UCC/ha en el resto de la cuenca.

En la cuenca del Ourthe, hay que resaltar la existencia de varias infraestructuras de transporte importantes (autopistas) que son una fuente de aportaciones contaminantes específicas (restos de la circulación de automóviles, sales y otros productos para el deshielo), en forma de vertidos puntuales (después de su paso por estanques de tormenta) o más difusos (pérdidas y lavado) en la red de aguas superficiales (Setra, 1980; Verniers *et al.*, 1988). Algunas carreteras de la parte alta de las Ardenas reciben hasta 5 kg/m² de sal para el deshielo a lo largo del invierno, lo que produce contenidos de cloruros de 6 grs/l en las aguas afluentes a estanques de tormenta.

1.3.4. PESQUERÍAS

En el siglo pasado y hasta finales de los años 1920, los peces de la cuenca del Ourthe y principalmente los grandes migradores como el salmón atlántico (Philippart, 1985, 1987) eran explotados intensamente por la pesca profesional. Esta práctica ha sido abolida en Bélgica, con lo que, tanto en el Ourthe como en el resto de los ríos belgas, no subsiste hoy día más que una pesca recreativa practicada esencialmente con caña y según un régimen de pesca público (ríos clasificados como navegables: Ourthe desde aguas abajo de la presa de Nisramont hasta su confluencia con el Mosa; Amblève desde Remouchamps hasta la confluencia con el Ourthe) o privado (el resto de los cursos de agua). Philippart (1979b) ha realizado, entre junio y septiembre de 1994, un estudio de las capturas obtenidas mediante pesca recreativa en un tramo de 3,5 km (9,6 ha) del Ourthe en la localidad de Hamoir. En el período de intensa actividad halieutica, las capturas de los pescadores ascienden a 85 kg/ha, contando con 420 pescadores/ha, lo que representa una captura media de 2,5 kg/pescador/temporada y de 0,2 kg/pescador/día. Este valor representa alrededor del 30% del total estimado de la biomasa explotable en el río, lo que constituye una situación globalmente equilibrada. Las capturas corresponden principalmente a las especies dominantes (ciprinidos) en la comunidad, pero se aprecia una tendencia a la búsqueda selectiva de especies más nobles y más raras, como la trucha, el salmón y el lucio, lo cual introduce un cierto desequilibrio en la estructura de la comunidad piscícola.

des engrais et pesticides répandus sur les prairies et champs cultivés. La charge polluante est de 5 à 6 UCP/ha dans le nord-est du bassin (sous-bassins de l'Amblève et de la Vesdre) et de 3 à 4 UCP / ha dans le reste du bassin.

Il faut signaler l'existence dans le bassin de l'Ourthe de plusieurs grandes infrastructures routières (autoroutes) qui sont une source d'apports polluants spécifiques (résidus de la circulation automobile, sels et autres produits de déneigement), sous la forme de rejets ponctuels (après passage en bassin d'orage) ou plus diffus (retombées et lessivage) dans le réseau des eaux de surface (Setra, 1980; Verniers *et al.*, 1988). Certaines routes de haute Ardenne reçoivent jusqu'à 5kg/m² de sels de déneigement au cours d'un hiver, ce qui entraîne des teneurs en chlorures de 6g/l dans les eaux entrant en bassin d'orage.

1.3.4. PÊCHERIES

Au siècle dernier et jusqu'à la fin des années 1920, les poissons du bassin de l'Ourthe et notamment les grands migrateurs comme le saumon atlantique (Philippart, 1985, 1987) étaient intensément exploités par la pêche professionnelle. Celle-ci a été abolie en Belgique de telle sorte qu'il ne subsiste plus aujourd'hui dans l'Ourthe, comme dans les autres rivières belges, qu'une pêche récréative pratiquée essentiellement à la ligne et selon un régime de pêche public (cours d'eau classés navigables: Ourthe de l'aval du barrage de Nisramont à sa confluence avec la Meuse; Amblève de Remouchamps à la confluence avec l'Ourthe) ou privé (tous les autres cours d'eau). Philippart (1979b) a réalisé en juin-septembre 1994 une étude des prélèvements des poissons par la pêche récréative dans un tronçon de 3,5 km (9,6 ha) de l'Ourthe centré sur la localité de Hamoir. Pour la période d'intense activité halieutique, les prélèvements par les pêcheurs s'élèvent à 85 kg/ha pour un effort de pêche de 420 pêcheurs/ha, ce qui représente une prise moyenne de 2,5 kg/pêcheur/saison et de 0,2 kg/pêcheur/jour. Ce prélèvement représente environ 30% de la biomasse exploitable estimée dans la rivière, ce qui constitue une situation globalement équilibrée. Les prélèvements concernent principalement les espèces (cyprinidés) dominantes dans la communauté mais on décèle une tendance à la recherche sélective des espèces plus nobles et plus rares comme la truite, l'ombre et le brochet, ce qui introduit un déséquilibre dans la structure de la communauté ichtyenne.

1.4. THE PUBLIC'S PERCEPTION OF THE RIVERS

In relation to the two extreme faces which the watercourse can exhibit, charming or cruel, attractive or destructive, the metamorphosis of the people perception seems to follow generally the development of our industrialised societies.

At a time when natural disasters were attributed to fate riverine population adapted to the damages caused by the river: they lived with it because most often, if they bordered it closely, this was also because they took advantage from it. The native memory in relation to ancient disasters generates for example the raising of buildings on piles, a local reshaping of topography or, more simply to assign secondary purposes to areas frequently flooded.

Today ideas have evolved in accordance with scientific and technical knowledge and the perception of the role the river plays in daily life has changed. The appeal of the river is greater than ever referring to quality of life, in terms of savouring its tourist attractions. Nevertheless damage is attributed to the designers of general hydraulic works, who are felt to have a growing responsibility. Beyond a necessary realism about technological capacities to radically dominate nature, the fundamental problem is the definition itself of flooding. If its hydraulic characterisation is strictly related to the submersion of the floodplain, it can give rise to other interpretations for insurance and disaster fund purposes for financial indemnity in exceptional circumstances: higher levels of fixed flood recurrence or water levels higher than ever measured.

1.5. EXISTING DATA ON THE WATERCOURSE AND FLOODPLAINS

1.5.1. DISCHARGE AND VELOCITIES IN THE CHANNEL AND THE FLOODPLAIN

▀▀▀ Velocities in the channel

The current velocities in the channel have been locally measured by current meters. The relationship between the ave-

1.4. PERCEPCIÓN DE LOS RÍOS POR LA OPINIÓN PÚBLICA

Con relación a las dos facetas extremas (encantadora o cruel, atractiva o destructora) que puede presentar cualquier río, la metamorfosis de las mentalidades discurre paralela a la evolución general de nuestras sociedades industrializadas.

En la época en que las catástrofes naturales se achacaban a la fatalidad, los ribereños se adaptaban a las fechorías del río: vivían con éste porque generalmente también vivían de él. La memoria local respecto a las catástrofes ancestrales se materializaba por ejemplo en una sobreelevación de las construcciones sobre pilotes, una modificación local de la topografía o más simplemente aceptando la invasión parcial por las aguas de parcelas dedicadas a usos secundarios.

Hoy día, las mentalidades han evolucionado al ritmo de los avances científicos y técnicos y la percepción del papel desempeñado por el río en la vida cotidiana se ha modificado. La atracción hacia el río es mayor que nunca cuando se habla de calidad de vida, para disfrutar sus atractivos turísticos, pero imputando todos los desastres a una responsabilidad cada vez mayor de los proyectistas de obras hidráulicas en el amplio sentido del término. Más allá de un indispensable realismo sobre las capacidades técnicas de doblegar radicalmente la naturaleza, se plantea por otro lado el problema fundamental de la propia definición de una inundación. Si bien su caracterización hidráulica es estricta en relación con su utilización de la llanura aluvial, pueden existir diferentes interpretaciones para los seguros o los fondos de ayuda en cuanto a la indemnización financiera para hacer frente a fenómenos excepcionales: niveles superiores a una crecida de período de retorno prefijado o a los mayores niveles jamás alcanzados.

1.5. DATOS EXISTENTES SOBRE LOS RÍOS Y LAS LLANURAS DE INUNDACIÓN

1.5.1. CAUDALES Y VELOCIDADES EN LOS LECHOS MENORES Y EN LAS LLANURAS DE INUNDACIÓN

▀▀▀ Velocidad en el lecho menor

Las velocidades de la corriente en el lecho menor se han medido localmente durante la realización de aforos con moli-

1.4. PERCEPTION DES RIVIERES PAR L'OPINION PUBLIQUE

Par rapport aux deux visages extrêmes que peut présenter tout cours d'eau, charmeur ou cruel, attractif ou destructeur, la métamorphose des mentalités semble suivre celle de l'évolution générale de nos sociétés industrialisées.

A l'époque où les catastrophes naturelles étaient imputées à la fatalité, les riverains s'accommodaient des méfaits de la rivière: ils vivaient avec celle-ci car le plus souvent, s'ils la côtoyaient de près, c'est aussi qu'ils en vivaient. La mémoire des autochtones vis-à-vis des catastrophes ancestrales se matérialisait par exemple par une surélévation des constructions sur pilotis, un remaniement local de la topographie ou plus simplement en s'accommodant d'une invasion partielle par les eaux de pièces volontairement affectées à des rôles accessoires.

Aujourd'hui, les mentalités ont évolué au gré des acquis scientifiques et techniques et la perception du rôle joué par la rivière dans la vie quotidienne s'est altérée. L'appel vers la rivière existe plus que jamais quand on parle de qualité de vie, pour goûter à ses attraits touristiques, mais en imputant désormais tout méfait sur une responsabilité toujours plus large des concepteurs d'ouvrages hydrauliques au sens large. Au-delà d'un indispensable réalisme sur les capacités techniques à infléchir radicalement la nature se pose par ailleurs le problème fondamental de la définition même d'une inondation. Si sa caractérisation hydraulique est stricte par rapport à toute mobilisation de la plaine alluviale, elle peut donner lieu à d'autres interprétations pour les assurances ou le fonds de calamité quant à l'indemnisation financière face à des phénomènes exceptionnels: niveaux supérieurs à une crue de récurrence fixée ou aux plus hautes eaux jamais mesurées.

1.5. DONNEES EXISTANTES SUR LES COURS D'EAU ET LES PLAINES ALLUVIALES

1.5.1. DÉBITS ET VITESSES DANS LES LITS MINEURS ET LES PLAINES ALLUVIALES

▀▀▀ Vitesse dans le lit mineur

Les vitesses du courant en lit mineur ont été mesurées localement grâce à des jaugeages au moulinet. Le rapport entre la

rage speed of a vertical section and the surface speed varies between 0.72 and 0.84 depending on the discharge. For a near bankfull discharge the average speed of the whole section oscillates around 1.5 m/s. Moreover the maximum surface speeds reach 4 m/s during a flood of thirty years recurrence.

■ Roughness of the bed

The roughness, according to the Manning formula, is more significant in the small rivers. In the same river it varies according to the bed morphology and to the discharge. It decreases when the discharge grows and reaches a nearly constant value at bankfull discharge. In the rivers classe 4 (following the Strahler classification) the Manning roughness coefficient exceeds 0.300 during very low water periods, maintains values close to 0.150 for the average discharge, but does not reach more than 0.100 for bankfull discharge and 0.080 during the annual flood (Petit, 1991). It nevertheless varies from 0.090 in straight reaches to 0.120 in the meanders with differences according to forms. The roughness coefficient is systematically lower on the riffles than in the pools. In the more significant rivers, such as the eastern Ourthe, the Manning roughness coefficient is about 0.060-0.070 for bankfull discharge but does not exceed 0.050 in the lower Ourthe (Yali, 1989; Petit *et al.*, 1994)

■ Specific stream power

In the eastern Ourthe (close to Houffalize) the specific stream power at the bankfull stage is 60 W/m². In the lower Ourthe, the specific power varies, according to site, from 25 to 40 W/m² at bankfull discharge but it exceeds 100 W/m² during a thirty year flood (Petit *et al.*, 1994). On the other hand the rivers flowing down the Hautes-Fagnes are characterised by extremely strong specific power, greater than 100 W/m². It is reflected notably in a greater competence in river activity, and blocks larger than 1.5 m can be moved (Pissart in Bastin *et al.*, 1972).

nete. La relación entre la velocidad media en vertical y la velocidad en superficie está comprendida entre 0,72 y 0,84, según los caudales. Para un caudal próximo al de sección llena, la velocidad media del conjunto de la sección oscila alrededor de 1,5 m/seg. Por otro lado, las velocidades en la superficie alcanzan valores de 4 m/s como máximo durante una avenida de 30 años de período de retorno.

■ Rugosidad del lecho

La rugosidad, caracterizada mediante la fórmula de Manning, es mayor en los ríos de dimensión modesta. En un mismo río, varía en función del trazado y en función del caudal: disminuye cuando el caudal aumenta y tiende a alcanzar un valor casi constante para el nivel correspondiente al caudal de sección llena. En los ríos de orden 4 por ejemplo (en la clasificación de Strahler), el coeficiente de rugosidad de Manning es mayor que 0,300 durante los estiajes acusados, manteniéndose en valores próximos a 0,150 para el caudal medio, no alcanzando más que 0,100 para el caudal de sección llena y 0,080 durante la avenida anual (Petit, 1991). Varía sin embargo entre 0,090 para los sistemas rectilíneos y 0,120 para los ríos con meandros, con diferenciaciones según las formas, siendo sistemáticamente más pequeño en los rápidos que en las pozas. En los ríos de dimensión más importante, como el Ourthe oriental, el coeficiente de rugosidad de Manning es del orden de 0,060-0,070 para el caudal de sección llena, no sobrepasando 0,050 en el Ourthe inferior (Yali, 1989; Petit *et al.*, 1994).

■ Potencia específica

En el Ourthe oriental (en las proximidades de Houffalize) la potencia específica para el caudal de sección llena es de 60 W/m². En el Ourthe inferior, las potencias específicas varían, según los lugares, estando comprendidas entre 25 y 40 W/m² para el caudal de sección llena y no sobrepasando los 100 W/m² para la crecida de 30 años de período de retorno (Petit *et al.*, 1994). Por el contrario, los ríos que descienden de Hautes-Fagnes se caracterizan por tener potencias específicas muy importantes, superiores a 100 W/m², lo que hace que estos ríos tengan una capacidad de transporte mucho más importante, pudiendo movilizar bloques de más de 1,5 m de longitud (Pissart in Bastin *et al.*, 1972).

vitesse moyenne d'une verticale et la vitesse de surface varie entre 0,72 et 0,84 suivant les débits. Pour un débit voisin du débit à pleins bords, la vitesse moyenne de l'ensemble de la section oscille aux alentours de 1,5 m/s. Par ailleurs, les vitesses de surface atteignent 4 m/s au maximum lors d'une crue dont la récurrence est de 30 ans.

■ Rugosité du lit

La rugosité, notamment appréhendée par la formule de Manning, est plus importante dans les rivières de dimension modeste mais dans une même rivière, elle varie en fonction du tracé et des sites et en fonction du débit: elle diminue lorsque le débit augmente et tend à atteindre une valeur presque constante au niveau du débit à pleins bords. Dans les rivières d'ordre 4 par exemple (dans la classification de Strahler), le coefficient de rugosité de Manning dépasse 0,300 lors d'étiages marqués, se maintient à des valeurs voisines de 0,150 pour le débit moyen, mais n'atteint plus que 0,100 pour le débit à pleins bords et 0,080 lors de la crue annuelle (Petit, 1991). Il varie cependant de 0,090 dans les systèmes rectilignes à 0,120 dans les méandres avec des différenciations selon les formes, le coefficient de rugosité étant systématiquement plus faible sur les seuils que dans les moulles. Dans des rivières de dimension plus importante, telle que l'Ourthe orientale, le coefficient de rugosité de Manning est de l'ordre de 0,060-0,070 pour le débit à pleins bords mais il ne dépasse pas 0,050 dans l'Ourthe inférieure (Yali, 1989; Petit *et al.*, 1994).

■ Puissance spécifique

Dans l'Ourthe orientale (à proximité de Houffalize) la puissance spécifique au niveau du débit à pleins bords est de 60 W/m². Dans l'Ourthe inférieure, les puissances spécifiques varient, selon les sites, de 25 à 40 W/m². au niveau du débit à pleins bords mais elles ont dépassé 100 W/m² lors de crue d'une crue trentennale (Petit *et al.*, 1994). Par contre les rivières descendant des Hautes-Fagnes se caractérisent par des puissances spécifiques fort importantes, supérieures à 100 W/m², ce qui se marque notamment par une compétence de ces rivières beaucoup plus importante, des blocs de plus de 1,5 m de longueur pouvant être mobilisés (Pissart in Bastin *et al.*, 1972).

► River morphometry

Different relationships between the morphometrical parameters of the rivers (width, depth, wave length of the meanders) and the bankfull discharge or the size of the watershed (used as a reliable descriptor of discharge) have been laid out for twenty Upper Belgium rivers, situated mainly in the Ourthe basin (Petit, 1995). The relationship between the width of the bed and the bankfull discharge is given by the equation $w = a Q_b^b$, where $a = 3.55$ and $b = 0.42$. These figures fit well with those produced by several authors working in similar geographical contexts, a varying from 2.8 to 3.7 and b from 0.44 to 0.56 (Emett, 1975; Charlton *et al.*, 1978; Ferguson, 1981; Hey, 1986). The relationship between the depth and the bankfull discharge presents a similar form, $d = a' Q_b^{b'}$ but with values of $a' = 0.805$ and $b' = 0.22$. The rivers of Upper Belgium fit well with these relationships, demonstrating thus their homogeneity. However the Famenne rivers have smaller widths and greater depths because these rivers without coarse bedload can easily cut in the crumbly bedrock (soft schist). Conversely the rivers flowing from the Ardennes into Famenne exhibit a different behaviour as the abundant coarse bedload inherited from their Ardennes course blocks the vertical erosion and causes a strong lateral erosion because of the lesser banks resistance. From these relationships it emerges that the width of the rivers rises more markedly than the depth, although the ratio width/depth (w/d) rises as a function of the river size. Thus in the eastern Ourthe this relationship is less than 10, whilst it reaches 15 in the lower Ourthe (Petit and Pauquet, 1997). But in some rivers these relationships differ noticeably. It is the Famenne rivers which have a lower ratio, due to the reasons given above. By contrast the Hautes Fagnes rivers characterised by a huge and abundant load have a greater w/d ratio.

The relationships connecting the wavelength of the meanders and bankfull discharge are generally very good insofar as the creation of the meanders results from the action of this type of flow. These kinds of relationships are currently used in paleohydrology, notably to evaluate the discharge from the Holocene period and from the recent Quaternary period. The relationship evidenced from twenty Ardennes rivers is given as $l = 16.5 Q_b^{0.60}$ (where l is the wavelength of the meanders expressed in m).

► Morfometría de los ríos

En un estudio llevado a cabo en una veintena de ríos de la Alta Belgica, situados principalmente en la cuenca del Ourthe (Petit, 1995), se han establecido diferentes expresiones que relacionan los parámetros morfométricos de los ríos (anchura, profundidad, longitud de onda de los meandros) con el caudal a sección llena o el tamaño de la cuenca vertiente (utilizado como representativo del caudal). La expresión que relaciona la anchura del lecho con el caudal a sección llena se presenta en la forma $w = a Q_b^b$, siendo $a = 3,55$ y $b = 0,42$, valores parecidos a los propuestos por diferentes autores en contextos geográficos bastante similares, variando a entre 2,8 y 3,7 y b entre 0,44 y 0,56 (Emett, 1975; Charlton *et al.*, 1978; Ferguson, 1981; Hey, 1986). La relación entre la profundidad y el caudal a sección llena se presenta en una forma similar $d = a' Q_b^{b'}$, pero con valores de $a' = 0,805$ y $b' = 0,22$. Los ríos de la Alta Belgica cumplen estas relaciones de manera muy satisfactoria en general, demostrando así su homogeneidad. Sin embargo, los ríos de Famenne tienen una anchura menor y una profundidad mayor, debido a que pueden encajarse más fácilmente, habida cuenta de la ausencia de acarreos y de la presencia de un sustrato deleznable. A la inversa, los ríos que desembocan en Famenne procedentes de las Ardenas presentan un sistema diferente, ya que la abundante carga de fondo heredada de su trayecto en las Ardenas provoca en ellos un bloqueo de la erosión vertical y una erosión lateral acusada, habida cuenta de la menor resistencia de la roca encajante. Por otro lado, de las expresiones anteriores se deduce que la anchura de los ríos aumenta de manera más acusada que la profundidad, si bien el cociente anchura/profundidad (w/d) aumenta a su vez en función de la dimensión del río. Así, en el Ourthe oriental, esta relación es inferior a 10, mientras que el Ourthe inferior alcanza un valor de 15 (Petit y Pauquet, 1997). Pero en ciertos ríos, estas relaciones se separan sensiblemente de la expresión propuesta; se trata de los ríos de Famenne que presentan una relación w/d mucho menor, en función de lo indicado anteriormente. Por el contrario, los ríos de Hautes Fagnes, caracterizados por una carga de fondo gruesa y abundante, tienen una relación w/d más elevada.

Las expresiones que relacionan la longitud de onda de los meandros y el caudal a sección llena son generalmente muy buenas, habida cuenta que el desarrollo de los meandros es una consecuencia de la acción de este tipo de caudal. Dichas relaciones se utilizan habitualmente en paleohidrología, fundamentalmente para reconstituir los caudales a lo largo del Holoceno y del

► Morphométrie des rivières

Différentes relations liant les paramètres morphométriques des rivières (largeur, profondeur, longueur d'onde des méandres) au débit à pleins bords ou à la taille du bassin versant (utilisé comme descripteur fiable du débit) ont été élaborées pour une vingtaine de rivières de Haute Belgique, situées principalement dans le bassin de l'Ourthe (Petit, 1995). La relation qui lie la largeur du lit au débit à pleins bords se présente sous la forme $w = a Q_b^b$, avec $a = 3,55$ et $b = 0,42$, valeurs voisines de celles mises en évidence par différents auteurs dans des contextes géographiques assez proches des nôtres, a variant de 2,8 à 3,7 et b de 0,44 à 0,56 (Emett, 1975; Charlton *et al.*, 1978; Ferguson, 1981; Hey, 1986). La relation entre la profondeur et le débit à pleins bords se présente sous une forme similaire $d = a' Q_b^{b'}$ mais avec des valeurs de $a' = 0,805$ et de $b' = 0,22$. Les rivières de Haute Belgique respectent le plus souvent ces relations de façon très satisfaisantes, démontrant ainsi leur homogénéité. Toutefois, des rivières de Famenne ont une largeur plus faible et une profondeur plus importante, dans la mesure où elles peuvent s'inciser plus facilement vu l'absence de charge caillouteuse et la présence d'un substrat friable. A l'inverse les rivières débouchant de l'Ardenne en Famenne, présentent un système différent car la charge de fond abondante héritée de leur trajet ardennais y provoque un blocage de l'érosion verticale et une érosion latérale marquée, vu la moindre résistance de la roche encaissante. D'autre part, il ressort de ces relations que la largeur des rivières augmente de façon plus marquée que la profondeur, si bien que le rapport largeur/profondeur (w/d) augmente lui aussi en fonction de la dimension de la rivière. Ainsi dans l'Ourthe orientale, ce rapport est inférieur à 10 alors que dans l'Ourthe inférieure il atteint 15 (Petit et Pauquet, 1997). Mais dans certaines rivières, ces rapports s'écartent sensiblement de la relation proposée; il s'agit des rivières de Famenne qui présentent un rapport beaucoup plus faible, en fonction des remarques émises ci-dessus. En revanche, les rivières des Hautes Fagnes caractérisées par une charge de fond grossière et abondante, ont un rapport w/d plus élevé.

Les relations qui lient la longueur d'onde des méandres et le débit à pleins bords sont généralement très bonnes dans la mesure où le façonnement des méandres résulte de l'action de ce type de débit. De telles relations sont couramment utilisées en paléohydrologie, notamment pour reconstituer les débits au cours de l'Holocène et du Quaternaire récent. La relation mise

► River activity in the floodplain

River activity in the floodplain only appears during a period of flooding and is therefore relatively infrequent as this type of event is limited. First of all one notices examples of erosion such as the erosion of the vegetal cover (scalping) generally localised to the contact between the floodplain and the channel. This erosion testified high current speeds because these have to reach 1.5 m/s in order to tear out the vegetal cover made of meadow vegetation (Petit, 1988). This process, in cutting off the protective vegetal cover, promotes the erosion and retreat of the riverbanks. Moreover, as evidenced in small Ardennes rivers, this scalping of the vegetal cover constrains equally the individualisation of cutting channels through the meander heads, thus activating the meanders cutoffs by overbanking (Petit, 1984, 1991).

However the erosion processes in the floodplain are relatively infrequent and occur during significant floods whose recurrence is five yearly or decennial. Also most of the active phenomena in the floodplain are processes of load accumulation. First of all one notices examples of sand sedimentation in the form of natural levees, at the border of the floodplain and the channel where the reduction of the current velocity caused by the vegetation allows a sedimentation of the coarsest material transported in suspension (sand). However, in the Ourthe basin, this construction of natural levees is relatively unimportant as there is not much sandy material available for the river. Finally the most active type of accumulation is silt sedimentation in sheltered zones, situated on the margin of the floodplain where low speeds, even during significant floods, allow for the sedimentation of fine material also carried in suspension. This accumulation of "flood silt" conditions the development of the alluvial plain and thus of the floodplain.

The current speeds during floods can reach locally 1.2 to 1.5 m/s in the floodplain. These values were estimated from measurements carried out a posteriori, based on the size of material removed from a road lined with stones and on the scalping of the vegetal cover and the erosion of underlying silt, these observations have been moreover compared with the critical velocity of erosion (Petit, 1988).

Cuaternario reciente. La relación puesta de manifiesto a partir de la veintena de ríos indicada se expresa en la forma $l = 16,5 Q_b^{0,6}$ (siendo l la longitud de onda expresada en metros).

► Actividad de los ríos en el lecho mayor

La actividad de los ríos en el lecho mayor no se produce obviamente más que en período de inundación, siendo por lo tanto relativamente poco frecuente, dado que este tipo de acontecimientos no se produce más que un número limitado de veces al año. En primer lugar, se observan fenómenos de erosión que afectan a la cubierta vegetal (scalping), localizados generalmente en las proximidades del contacto entre el lecho menor y el mayor y que testimonian velocidades elevadas de la corriente, ya que éstas deben ser del orden de 1,5 m/s para poder arrancar una cubierta vegetal constituida por prados (Petit, 1988). Este proceso de decapado de la cubierta vegetal protectora favorece la erosión y el retroceso de las márgenes. Por otro lado, como se ha puesto de manifiesto en los ríos de tipo "ardennais" de dimensión modesta, este decapado de la cubierta vegetal condiciona igualmente la individualización de brazos que cortan a través de los pedúnculos de los meandros, activando así la dinámica de corta natural de meandros por desbordamiento (Petit, 1984, 1991).

Sin embargo, los fenómenos de erosión en el lecho mayor son relativamente poco frecuentes y no se manifiestan más que durante las avenidas importantes cuyo período de retorno es por lo menos de 10 ó 15 años. Asimismo la mayor parte de los fenómenos activos en el lecho mayor son procesos de acumulación de materiales. En primer lugar, existen fenómenos de sedimentación de arenas, en forma de diques naturales, en el límite entre el lecho menor y el lecho mayor, allí donde la disminución brusca de la corriente y el efecto de peine provocado por la vegetación permiten una sedimentación del material más grueso transportado en suspensión (las arenas). Sin embargo, en la cuenca del Ourthe, estos diques naturales son relativamente poco abundantes, dado que el material arenoso puesto a disposición de los ríos es también relativamente poco abundante. Finalmente, el fenómeno de acumulación más activo es la sedimentación limosa en las zonas abrigadas, situadas en la margen del lecho mayor, allí donde las pequeñas velocidades, que se producen incluso durante las crecidas importantes, permiten la decantación del material fino transportado en suspensión. Esta acumulación de limos de avenida condiciona

en évidence à partir d'un vingtaine de rivières ardennaises se présente sous la forme $l = 16,5 Q_b^{0,60}$ (avec l la longueur d'onde exprimée en m).

► Activité des rivières dans le lit majeur

L'activité des rivières dans le lit majeur ne s'exerce forcément qu'en période d'inondation et est donc relativement peu fréquente puisque ce type d'événements ne se produit qu'un nombre limité de fois par an. Tout d'abord, on observe des phénomènes d'érosion telle que l'érosion du tapis végétal (scalping), généralement localisés à proximité du contact lit mineur/lit majeur et qui témoignent de vitesses élevées du courant puisqu'elles doivent être de l'ordre de 1,5 m/s pour pouvoir arracher un tapis végétal constitué d'une végétation de type prairial (Petit, 1988). Ce processus, en décapant le tapis végétal protecteur, favorise l'érosion et le retrait des berges. Par ailleurs, comme cela a été mis en évidence dans des rivières ardennaises de dimension modeste, ce scalping du tapis végétal conditionne également l'individualisation de chenaux de recouplement au travers des pédoncules des méandres, activant ainsi la dynamique de recouplement de méandres par débordement (Petit, 1984, 1991).

Toutefois les phénomènes d'érosion dans le lit majeur sont relativement peu fréquents et ne se manifestent que lors de crues importantes dont la récurrence est au moins quinquennale sinon décennale. Aussi la plupart des phénomènes actifs dans le lit majeur sont-ils des processus d'accumulation. Tout d'abord il s'agit des phénomènes de sédimentation sableuse en position de levées naturelles, à la limite du lit mineur et du lit majeur là où la diminution brusque du courant et l'effet de peigne provoqué par la végétation permettent une sédimentation du matériel le plus grossier transporté en suspension (les sables). Toutefois, dans le bassin de l'Ourthe, cette édification de levées naturelles est relativement peu importante du fait que le matériel sableux mis à la disposition des rivières est relativement peu abondant. Finalement, le phénomène d'accumulation le plus actif est la sédimentation limoneuse dans les zones abritées, situées en marge du lit majeur là où les vitesses faibles, même lors de crues importantes, permettent la décantation du matériel fin transporté lui aussi en suspension. C'est cette accumulation de limon de crue qui conditionne en fait l'édification de la plaine alluviale et donc du lit majeur.

But in general the current speeds of the floodplain are clearly lower when they allow the sedimentation of silt which build the alluvial plain.

The water level reached during the most significant floods is known thanks to numerous reference marks set up in villages or in old locks. They indicate the levels reached during the flood of 1925, with a density of one mark per kilometre on average. There are also some reference marks for the flood of 1870. It turns out that now these marks are practical (but non official) guidelines for the population when new buildings are carried out (Linotte, 1995), although taken into account implicitly and with no clear guidelines.

These flood marks indicate that the water level in the floodplain reached maximum depths of 1 to 1.5 m, during the biggest floods. Generally the flood levels of 1925 have not been exceeded, even during the 1993's flood (recurrence time of 35 years), except at some locations. These "abnormalities" are moreover related to developments carried out in the channel and changes in land use in the floodplain (Petit *et al.*, 1994).

1.5.2. FLOW OF SEDIMENTS

■ ■ ■ Suspended load

Studies carried out in the Ourthe and Meuse basins reveal the following relationships between the concentration of the suspended load (C_s) and the discharge (Q): $C_s = a Q^b$ where the value of the exponent b generally oscillates between 0.5

en realidad el desarrollo de la llanura aluvial y consecuentemente del lecho mayor.

Las velocidades de la corriente en el lecho mayor pueden alcanzar localmente durante las avenidas hasta 1,2-1,5 m/s. Estas estimaciones se deducen de medidas efectuadas a posteriori, sobre la base del tamaño del material arrancado de un camino empedrado, del decapado de la cubierta vegetal y de la erosión del limo aluvial subyacente con la formación de pequeñas marmitas de erosión, estando confrontados estos valores con las velocidades críticas de erosión puestas de manifiesto por otros autores (Petit, 1988).

Pero en general las velocidades de la corriente son claramente menores ya que permiten la sedimentación de limos de crecida que constituyen la base del desarrollo de la llanura aluvial.

El nivel de agua alcanzado durante las avenidas más importantes es conocido gracias a numerosas marcas existentes en los pueblos o en antiguas esclusas. Representan principalmente los niveles alcanzados durante la avenida de 1925, con una densidad de una marca por kilómetro por término medio; hay también algunas marcas de la crecida de 1870. Está comprobado que, en la actualidad, estos niveles sirven de referencia a la población a la hora de efectuar obras o diseñar nuevas edificaciones (Linotte, 1995), si bien esto se lleva a cabo de manera implícita sin que haya directivas precisas al respecto. Estas marcas de crecidas indican que el calado de agua en el lecho mayor está entre 1 m y 1,5 m como máximo, durante las crecidas importantes. En general, los niveles de la avenida de 1925 no han sido sobrepasados incluso durante la avenida de 1993 (con un período de recurrencia de 35 años), salvo en algunos lugares. Por otro lado, estas "anomalías" se han relacionado con las obras efectuadas en el lecho menor y con las ocupaciones del suelo en el lecho mayor (Petit *et al.*, 1994).

1.5.2. FLUJO DE SEDIMENTOS

■ ■ ■ Transporte en suspensión

Diferentes estudios llevados a cabo en las cuencas del Mosa y del Ourthe permiten hacerse una idea de la evolución de la concentración de partículas en suspensión en función de la importancia de los caudales. Las relaciones entre la concen-

Les vitesses du courant en lit majeur lors de crues débordantes peuvent atteindre localement 1,2 à 1,5 m/s dans les chenaux de crue. Ces estimations ressortent de mesures effectuées à posteriori, sur base de la taille du matériel charrié à partir d'un chemin empierré d'une part, du scalping du tapis végétal et de l'érosion du limon alluvial sous-jacent avec la formation de petites marmites d'érosion d'autre part, ces observations étant confrontées aux vitesses critiques d'érosion mises en évidence par ailleurs (Petit, 1988).

Mais en général, les vitesses du courant en lit majeur sont nettement moins élevées puisqu'elles permettent la sédimentation de limon de crues qui sont eux-mêmes à la base de l'édification de la plaine alluviale.

La hauteur d'eau atteinte lors des crues les plus importantes est connue grâce à de nombreux repères implantés dans les villages ou d'anciennes écluses. Ils reprennent principalement les niveaux atteints lors de la crue de 1925, avec une densité de un repère par kilomètre en moyenne; il y a aussi quelques repères de la crue de 1870. Il s'avère qu'à l'heure actuelle, ces niveaux servent de référence à la population lorsque des nouvelles constructions ou des aménagements sont effectués (Linotte, 1995), mais ceci de façon implicite sans qu'il n'y ait de directives précises à ce sujet. Ces repères de crues nous indiquent que la hauteur d'eau en lit majeur atteint de 1 m à 1,5 m maximum, lors des crues principales. De façon globale, les niveaux de la crue de 1925 n'ont pas été dépassés même lors de la crue de 1993 (dont la récurrence est de l'ordre de 35 ans), sauf à quelques endroits. Ces "anomalies" ont d'ailleurs été mises en relation avec des aménagements effectués dans le lit mineur et des modifications d'occupation du sol dans le lit majeur (Petit *et al.*, 1994).

1.5.2. FLUX DES SÉDIMENTS

■ ■ ■ Charge en suspension

Différentes études réalisées dans les bassins de la Meuse et de l'Ourthe permettent de se faire une opinion quant à l'évolution de la concentration des particules en suspension en fonction de l'importance des débits. Les relations liant la concentra-

and 1.0, which clearly indicates that there is an increase in concentration according to discharge.

In the lower Ourthe the concentration of sediments reaches a peak of 200 mg/l for bankfull discharge and 300 mg/l for decennial floods (Lemin *et al.*, 1987). These relatively low values according with other Ardennes rivers is explained by the fact that the Ourthe basin is dominated by grass land and forests.

Using the above equations, the suspended sediment amount transported by these rivers can be estimated as follows: $Q_s = Q \cdot C_s$ (Table 9).

The suspended sediment transported during low discharges is not important. It increases strongly with the discharge and most of the material is evacuated during high discharges, which are relatively rare. This is highlighted moreover by higher values of the exponent b in the equation $Q_s = a Q^b$ (b ranges from 1.3 to 2.3). Studies carried out on the rivers of Mid and Upper Belgium reveal the influence of land-use on the eroded sediment rate. Thus the high value of sediment load evidenced on the Burdinale (Lamalle *et al.*, 1989) result from the fact that the watershed is situated in a silt area where the covering of loess is particularly thick and is used essentially for agriculture. On the other hand, the Hoëgne exhibits clearly lower values as its watershed, even having pronounced slopes, is wooded and covered in meadows (Lemin *et al.*, 1987). These values are weaker in small forested watersheds (Dave, 1974; Petit, 1985). It results from the effect of two factors: the land-use and the loess

tración del material en suspensión (C_s) y el caudal (Q) se presentan generalmente en la forma $C_s = a Q^b$, variando el exponente b entre 0,5 y 1,0, lo cual indica claramente que hay un incremento de la concentración en función del caudal.

En el Ourthe inferior, la concentración de sedimentos apenas alcanza los 200 mg/l para el caudal a sección llena y los 300 mg/l para una avenida decenal (Lemin *et al.*, 1987). Estos valores relativamente bajos, acordes con los puestos de manifiesto en otros ríos de las Ardenas, se justifican por el hecho de que esta cuenca tiene un predominio herbáceo y forestal.

Con base en las ecuaciones anteriores, se puede estimar la importancia del caudal sólido en suspensión ($Q_s = Q \cdot C_s$) en de dichos ríos (Tabla 9)

El caudal sólido en suspensión asociado a los caudales pequeños es poco importante pero aumenta de manera acusada con el caudal, evacuándose la mayor parte del material durante los episodios de avenida, es decir, con caudales poco frecuentes. Por otro lado, esto se señala por los valores elevados del exponente b en la ecuación $Q_s = a Q^b$ (variando b entre 1,3 y 2,3). Los estudios efectuados en la Bélgica Media y Alta permiten fundamentalmente descubrir el efecto que tiene el uso del suelo. Así, los valores elevados puestos de manifiesto en el Burdinal (Lamalle *et al.*, 1989) son debidos a que dicha cuenca, situada en la zona limosa en donde la cobertura de loess es extremadamente gruesa, tiene una vocación esencialmente agrícola. Por el contrario, el Hoëgne muestra valores claramente menores porque su cuenca vertiente, a pesar de

tion de la charge en suspension (C_s) au débit (Q) se présentent généralement sous la forme $C_s = a Q^b$, la valeur de l'exposant b oscillant généralement entre 0,5 et 1,0 ce qui indique clairement qu'il y a une augmentation de la concentration en fonction des débits.

Dans l'Ourthe inférieure, la concentration en sédiments atteint à peine 200 mg/l pour le débit à pleins bords et 300 mg/l pour une crue décennale (Lemin *et al.*, 1987). Ces valeurs relativement faibles, en accord avec celles mises en évidence dans d'autres rivières ardennaises, s'expliquent par le fait que ce bassin est à dominante herbagère et forestière.

Sur base des équations mises en évidence ci-dessus, on peut estimer l'importance du débit solide de la charge en suspension ($Q_s = Q \cdot C_s$) évacuée par ces rivières (Tableau 9).

Le débit solide de la charge en suspension évacué lors de faibles débits est peu important mais il augmente de façon marquée avec le débit, l'essentiel du matériel étant évacué lors des épisodes de crue, c'est-à-dire pour des débits relativement rares. Ceci se marque d'ailleurs par les valeurs élevées de l'exposant b dans l'équation $Q_s = a Q^b$ (b variant entre 1,3 et 2,3). Les études effectuées sur des rivières de Moyenne et Haute Belgique, permettent notamment de déceler l'effet de l'affectation du sol. Ainsi, les valeurs importantes mises en évidence sur la Burdinale (Lamalle *et al.* 1989) résultent du fait que ce bassin versant, situé dans la zone limoneuse où la couverture de loess est extrêmement épaisse, a une vocation essentiellement agricole. Par contre, la Hoëgne montre des valeurs nettement plus

Table 9. Transportation of suspended load and stripping of hydrographical basins
Tabla 9. Transporte de carga en suspensión y erosión de las cuencas hidrográficas
Tableau 9. Transport de la charge en suspension et dénudation des bassins hydrographiques

River	Transportation (t/km/year)	Source
Hoëgne à Theux	19 (a)	Lemin <i>et al.</i> (1987)
Ourthe à Liège	27 (a)	Lemin <i>et al.</i> (1987)
Rulles (Forêt d'Anlier)	5 (a)	Petit (1985)
Reau Wavelinse	6 (b)	Dave (1984)
Burdinale	100 (a)	Lamalle <i>et al.</i> (1989)
Meuse à Liège	24	Lamalle <i>et al.</i> (1989)

(a) from relationships $c = aQ^b$ and from the curve of classified discharge. C is the concentration in mg/l and Q the discharge during sampling.

(b) Estimation from the volume of sediments accumulated in a pond.

thickness which is smaller in the south of the Sambre-et-Meuse valley, and in southern Ardennes. The Ourthe at Liège is characterised by relatively weak values (Lemin *et al.*, 1987).

The quantity of material evacuated at the basin outlet gives a very imperfect estimation of the erosion on the slopes and on the whole basin. Mainly in agricultural basins, the quantities of sediment carried out, evaluated by the above equations, only represent a tiny portion of the quantity of material actually eroded. Indeed significant sediment quantities accumulate in intermediate places (small valleys, small terraces) between the erosion sites in the upper basin and the basin outlet. This accumulation appears when comparing the quantities of sediment transported out of the watershed and eroded on the slopes. Bolline (1982) estimated these quantities at Hesbaye using different approaches. In that case, only one tenth of material effectively eroded on the slopes was evacuated by silty rivers. The high erosion rate measured by Bolline is related to the fact that the study area is situated in silt zones devoted to agriculture. Lower values are found in the Ardennes, where the covering of loess is less thick and the land is used for forestry. However, it arises from the map showing erodibility by precipitation offered by Bolline *et al.* (1979) that the erodibility index (based on the precipitation intensity) is greater in the regions south of the Sambre-et-Meuse valley and in the south border of the Ardennes, with the exceptions of the Fagne-Famenne depression and the Grand Duchy of Luxembourg.

There is little information available on the size of sediments transported in suspension. During a decennial flood of the Hoëgne, the D_{50} of material in suspension varied between 50 and 60 μm and the part less than 10 μm represented from 15% to 20% (Lemin, 1984). During the same flood the graded suspension (granulometric part greater than 75 μm) was far from being negligible. For other floods, less than bankfull discharge, the D_{50} was 30 μm and the part less than 10 μm reached 30% to 40%. In other respects in the rivers of the Plateau des Tailles, the D_{50} of suspended material varies between 45 and 60 μm (Mercenier, 1973).

tener una pendiente acusada, está cubierta de bosques y prados (Lemin *et al.*, 1987). Estos valores son todavía menores en las cuencas vertientes forestales de dimensión modesta (Dave, 1974; Petit, 1985), debido al uso del suelo y también al hecho de que el espesor de loess es menos importante al sur del surco Sambre-et-Meuse y sobre todo al sur de las Ardenas. El Ourthe a la altura de Lieja presenta valores relativamente bajos (Lemin *et al.*, 1987).

La cantidad de material evacuado por el punto de desagüe proporciona una información muy imperfecta de la erosión que se produce en las vertientes y más generalmente en el conjunto de la cuenca. En las cuencas agrícolas principalmente, las cantidades exportadas, evaluadas mediante las ecuaciones anteriores, no representan en realidad más que una parte ínfima de la cantidad de material efectivamente erosionado, debido a que entre las zonas de erosión y el punto de desagüe de la cuenca existen, en el seno de la propia cuenca, zonas intermedias en las que se produce una acumulación duradera de sedimentos (relleno de vaguadas, desarrollo de montículos). Esto es lo que se deduce de la comparación entre los valores exportados y los valores de la erosión efectivamente medidos en la vertiente (Bolline, 1982), en un estudio llevado a cabo en Hesbaye, ha estimado estas cantidades mediante diversos métodos y ha obtenido como resultado que tan sólo la décima parte de la erosión efectiva de las vertientes es evacuada por los ríos de la zona. La importancia de la erosión medida por Bolline está unida al hecho de que la zona estudiada es de tipo limoso y está afectada por cultivos importantes; es menor en las Ardenas, debido al menor espesor de la cobertura de loess y a un uso del suelo diferente. No obstante, del mapa de erosividad de las precipitaciones propuesto por Bolline *et al.*, (1979) se deduce que el índice de erosividad (función principalmente de la intensidad de las precipitaciones) tiene sus mayores valores en los relieves del sur del surco Sambre-et-Meuse y en el flanco sur de las Ardenas, teniendo como excepciones sin embargo la depresión de Fagne-Famenne y el Gran Ducado de Luxemburgo.

Las informaciones disponibles en cuanto al tamaño de los sedimentos transportados en suspensión son escasas. Las medidas efectuadas en el Hoëgne, durante una crecida decenal, muestran que el D_{50} del material en suspensión varía entre 50 y 60 μm y la fracción inferior a 10 μm representa entre el 15 y el 20% (Lemin, 1984). Durante esta misma crecida, la fracción granulométrica superior a 75 μm ha estado lejos de ser despreciable. Durante otras crecidas de menor importancia, todas inferiores al caudal de sección llena, se han medido valores de D_{50}

faibles car son bassin versant, pourtant pentu, est boisé et couvert de prairies (Lemin *et al.*, 1987). Ces valeurs sont encore plus faibles sur des bassins versants forestiers de dimension modeste (Dave, 1974; Petit, 1985), ceci résultant de l'affectation du sol mais aussi du fait que l'épaisseur de loess est moins importante au sud du sillon Sambre-et-Meuse et surtout au Sud de l'Ardenne. L'Ourthe à Liège montre des valeurs relativement faibles (Lemin *et al.*, 1987).

La quantité de matériel évacuée à l'exutoire d'un bassin versant ne rend toutefois que très imparfaitement compte de l'érosion qui s'exerce sur les versants et plus généralement sur l'ensemble du bassin. Dans les bassins agricoles principalement, les quantités exportées, évaluées par les équations ci-dessus, ne représentent en réalité qu'une partie infime de la quantité de matériel qui est effectivement érodée, du fait qu'entre les sites d'érosion et l'exutoire du bassin, il existe au sein même du bassin versant, des sites intermédiaires où il y a une accumulation durable des sédiments (colmatage de vallons, édification de rideaux). Ceci ressort bien de la mise en relation entre les valeurs exportées et les valeurs d'érosion effectivement mesurées sur les versants. Bolline (1982) a estimé ces quantités en Hesbaye par différentes approches et les valeurs mises ainsi en évidence montrent que seulement le dixième de ce qui est effectivement érodé sur les versants, est évacué par les rivières hesbignonnes. L'importance de l'érosion mesurée par Bolline est liée au fait que l'on se trouve dans la zone limoneuse soumise à des cultures importantes; elle est plus faible en Ardenne, dans la mesure où la couverture de loess est moins épaisse et l'affectation du sol différente. Toutefois, il ressort de la carte d'érosivité des précipitations proposée par Bolline *et al.* (1979), que l'indice d'érosivité (fonction principalement de l'intensité des précipitations) est le plus élevé sur les reliefs du sud du sillon Sambre-et-Meuse et sur le flanc sud de l'Ardenne, avec cependant comme exceptions la dépression de Fagne-Famenne et le Grand-Duché de Luxembourg.

Les informations disponibles quant à la taille des sédiments transportés en suspension, sont peu nombreuses. Lors d'une crue décennale de la Hoëgne, le D_{50} du matériel en suspension variait entre 50 et 60 μm et la fraction inférieure à 10 μm représentait de 15 à 20% (Lemin, 1984). Lors de cette même crue, la suspension graduée (fraction granulométrique supérieure à 75 μm) était loin d'être négligeable. Pour d'autres crues de plus faible importance, toutes inférieures au débit à pleins bords, le D_{50} était de 30 μm et la fraction inférieure à 10 μm atteignait 30 à 40%. Par ailleurs, dans des rivières du Plateau des Tailles, le

■ Bed-load discharge

Evidence concerning the quantities evacuated by bed-load transport is very fragmentary, because of the difficulty of carrying out measurements. In the rivulets at the basin head waters the bed-load discharge, estimated thanks to sediment traps, is around 0.5 t/km²/year. These values appear not important for rivulets with strong gradients, but their basin is predominantly forested and the log jams act like dams and play a major role essentially in reducing the bed-load transport notably because of the dissipation of energy in the plunge-pools thus created (Assani and Petit, 1995). Bed-load transport in the lower Ourthe has been estimated thanks to an analysis of volume of dredged sediment over time and at the same places, in relation with control cross-profiles. From a dozen sites dredged over the last twenty years, bed-load transport reaches an average of 0.44 t/km²/year (Petit *et al.*, 1996). It is an average value over many years that integrates several floods of different importance. For a thirty yearly flood, the bed-load transport reaches 1.13 t/km²/year. The average quantity carried in the Ourthe upstream of its confluence with the Amblève and in the Ourthe in Famenne is 0.45 and 0.38 t/km²/year respectively.

Measurements using marked pebbles carried out recently have led to the identification of the discharges which set in motion the bed-load and therefore to knowing the recurrence of the bed-load transport. In the head waters of the Ardennes basins bed-load transport occurs on average 8 to 10 days a year (Assani and Petit, 1995). In mid size rivers (watershed from 100 to 500 km²) the bed-load transport starts with a discharge close to half of the bankfull discharge and occurs 4 to 5 times a year on average. In the lower Ourthe (about 2000 km²) the bed-load transport starts with a discharge scarcely a third of bankfull discharge and occurs on average 5 days a year (Petit *et al.*, 1996). Such transport is not yet generalised as it concerns only small particles moving over a short distance. Nevertheless, their movement reflects a destabilisation of the bed, which has allowed better a calculation of the critical shear stress values which play the main part in equations such as that of Meyer-Peter. Lower values of

del orden de 30 µm, estando la fracción inferior a 10 µm comprendida entre el 30% y el 40%. Por otro lado, en los ríos del Plateau des Tailles, el D₅₀ del material transportado en suspensión varía entre 45 y 60 µm (Mercenier, 1973).

■ Arrastre de fondo

Las indicaciones concernientes a las cantidades evacuadas mediante arrastre de fondo son todavía muy fragmentarias, habida cuenta de la dificultad de las medidas. En los arroyos de cabecera de la cuenca, el arrastre de fondo, estimado con la ayuda de trampas de sedimentos, representa aproximadamente 0,5 t/km²/año. Aparentemente, estos valores son poco importantes para arroyos de pendiente fuerte pero su cuenca es predominantemente forestal y los obstáculos vegetales que hacen de presas desempeñan un papel primordial en la reducción del arrastre, debido fundamentalmente a la disipación de energía que tiene lugar en los resaltos sumergidos que se forman (Assani y Petit, 1995). El transporte sólido del Ourthe inferior se ha estimado gracias al análisis sistemático de las cantidades dragadas sucesivamente a lo largo del tiempo en los mismos lugares, complementado con la realización de perfiles transversales de control. En base a la información obtenida en una docena de zonas dragadas a lo largo de los últimos veinte años, se ha deducido un transporte de fondo medio de 0,44 t/km²/año (Petit *et al.*, 1996). Se trata de un valor medio, que corresponde a varios años y que engloba por ello el efecto de crecidas de diferente importancia. Para una crecida de 30 años de período de retorno, el transporte de fondo alcanza un valor de 1,13 t/km²/año. Las cantidades medias transportadas por el fondo por el Ourthe, en Famenne y aguas arriba de su confluencia con el Amblève, representan, respectivamente, 0,38 y 0,45 t/km²/año.

Se han llevado a cabo recientemente diversas campañas con guijarros marcados, que han permitido identificar el caudal capaz de poner en movimiento el material del fondo y conocer así el desarrollo del proceso de acarreo. En las cabeceras de las cuencas de las Ardenas, el transporte de fondo se produce, como media, 8 ó 10 días al año (Assani y Petit, 1995). En los ríos más importantes (con cuencas del orden de 100 a 500 km²) el comienzo del transporte se produce para caudales del orden de la mitad del correspondiente a sección llena y tiene lugar como media 4 ó 5 veces al año, mientras que en el Ourthe inferior el comienzo del transporte se produce para caudales del orden de la tercera parte del correspondiente a sección llena y

D₅₀ de la charge en suspension varie entre 45 et 60 µm (Mercenier, 1973).

■ Le transport de la charge de fond

Les indications concernant les quantités évacuées par charriage sont encore très fragmentaires, vu la difficulté des mesures. Dans des ruisseaux en tête de bassin, le débit solide de la charge de fond, estimé grâce à des pièges à sédiments, représente environ 0,5 t/km²/an. Ces valeurs apparaissent peu importantes pour des ruisseaux à forte pente mais leur bassin est à dominante forestière et les embâcles végétaux qui font office de barrage jouent un rôle primordial dans la réduction du charriage, notamment du fait de la dissipation d'énergie dans les plunge-pool ainsi créés (Assani et Petit, 1995). Le transport solide de l'Ourthe inférieure a été estimé grâce à l'analyse systématique des quantités draguées successivement dans le temps et aux mêmes endroits, ceci en relation avec des profils transversaux de contrôle. A partir d'une douzaine de sites dragués lors de ces vingt dernières années, un débit solide par charriage atteignant en moyenne 0,44 t/km²/an a été mis en évidence (Petit *et al.*, 1996). Il s'agit d'une valeur moyenne couvrant plusieurs années et intégrant de ce fait des crues d'importance différente. Pour une crue de type trentenal, le débit solide par charriage y atteint 1,13 t/km²/an. Les quantités moyennes charriées dans l'Ourthe en amont de sa confluence avec l'Amblève et dans l'Ourthe en Famenne représentent respectivement 0,45 et 0,38 t/km²/an.

Différentes campagnes de marquages des galets menées récemment ont permis d'identifier le débit de mise en mouvement de la charge de fond et donc de connaître l'occurrence du charriage. Dans les têtes de bassins ardennais, le charriage se produit en moyenne 8 à 10 jours par an (Assani et Petit, 1995). Dans des rivières plus importantes (bassin versant de l'ordre de 100 à 500 km²) le charriage débute pour des débits voisins de la moitié du débit à pleins bords et se produit quatre à cinq fois par an en moyenne, tandis que dans l'Ourthe inférieure, le charriage débute pour des débits représentant à peine le tiers du débit à pleins bords et se présente en moyenne vingt jours par an (Petit *et al.*, 1996). Il ne s'agit évidemment pas d'un charriage généralisé, les éléments pouvant ne parcourir qu'une distance limitée, mais leur mise en mouvement démontre bien qu'il y a eu une déstabilisation du lit, ce

dimensionless criterion (Shields) (q_c), have been found than those proposed by other studies based on flume experiments (Petit, 1994) or on natural rivers (Andrews, 1983; Komar, 1987; Ferguson and Ashworth, 1989), with q_c values in the order of 0.020 in the lower Ourthe.

The size of the bed-load material depends on two factors: the power of floods and the type of river, especially in terms of the available energy expressed by unit stream power (Petit, 1994). The size of the material moved and transported depends also on the river sites. Riffles appear to be where shear stresses are the lowest during floods and they act like filter screens for the bed-load; in such a way the size of the material covering the riffles gives an estimation (in excess) of the effective competency of the rivers (Petit, 1987). In the eastern Ourthe the moveable material reaches 70 mm, which is also the case in the lower Ourthe during ordinary floods but the material moved locally exceeds 120 mm during thirty yearly floodings (Petit *et al.*, 1995).

The distance covered by bed-load caused by a flood depends on the duration and importance of the flood, the size of the material and the dimensions of the river. In small rivers the particles in motion can cover 100 m during a single flood, which, in view of the dimensions of the rivers, is not negligible. Indeed this implies that this material has passed through several meanders and thus several riffles. In the lower Ourthe marked pebbles were displaced several tens of metres during floods clearly lesser than bankfull discharge. However one must distinguish between the distance covered by isolated particles and the general wave of the bed-load. Little information is available about the speed of bed-load transport. However, using first the average speed of the dissolution of limestone, secondly the distance from which no limestone can be found in the river bed, Duchesse and Pissart (1985) deduced that the movement of bed-load in the lower Ourthe was only 500 m a century.

tiene lugar unos 20 días al año (Petit *et al.*, 1996). Evidentemente, no se trata de un movimiento generalizado, recorriendo los elementos una distancia limitada, pero su puesta en movimiento demuestra que se ha producido una desestabilización del lecho, lo que permite afinar los valores de la fuerza tractiva crítica que interviene fundamentalmente en las ecuaciones de transporte sólido, como la de Meyer-Peter. Utilizando como criterio de adimensional el propuesto por Shields (q_c), cabe señalar que, en el Ourthe inferior, se han puesto de manifiesto valores de q_c del orden de 0,020, menores que los indicados por otros autores con base en medidas efectuadas en canal de laboratorio (Petit, 1994) o en ríos naturales (Andrews, 1983; Komar, 1987; Ferguson y Ashworth, 1989).

El tamaño del material arrastrado depende por supuesto del tipo de crecidas pero también del tipo de ríos y especialmente de la energía disponible, estando caracterizada esta última por el rango de la potencia específica (Petit, 1994). El tamaño del material movilizado y transportado depende igualmente de los lugares característicos del río. Los rápidos son los lugares en los que las fuerzas tractivas son menores en período de crecida y actúan como filtros para el transporte de fondo; de esa manera, el tamaño del material que recubre la zona de rápidos proporciona una estimación (por exceso) de la capacidad efectiva de transporte de los ríos (Petit, 1987). En el Ourthe oriental, el material movilizado alcanza los 70 mm, ocurriendo lo mismo en el caso del Ourthe inferior durante las crecidas ordinarias, si bien el material movilizado en zonas localizadas sobrepasa los 120 mm durante las crecidas de 30 años de período de retorno (Petit *et al.*, 1995).

La distancia recorrida por el material del fondo durante una crecida capaz de movilizarlo depende, evidentemente, de la importancia y de la duración de dicha crecida, del tamaño del material y también de la dimensión del río. En los ríos de dimensión modesta, los elementos movilizados pueden recorrer un centenar de metros bajo el efecto de una sola crecida, lo cual, habida cuenta de la dimensión de estos ríos, no es nada despreciable, ya que ello implica que este material ha franqueado varios meandros y varias formas del lecho asociadas a los mismos, como es el caso de los rápidos. En el Ourthe inferior, algunos guijarros marcados se han desplazado algunas decenas de metros durante crecidas claramente inferiores a la de sección llena. Sin embargo, es importante distinguir la distancia recorrida por elementos aislados y el flujo global del material del fondo. En cuanto a la velocidad de tránsito del conjunto del transporte de fondo, cabe señalar que hay pocas informaciones disponibles. No

qui a d'ailleurs permis d'affiner les valeurs de la force d'entraînement critique qui intervient notamment dans les équations de transport solide telle que l'équation de Meyer-Peter. Traduites en critère adimensionnel de Shields (q_c), des valeurs plus faibles que celles avancées dans d'autres études basées sur des relevés effectués en flume (Petit, 1994) ou en rivières naturelles (Andrews, 1983; Komar, 1987; Ferguson et Ashworth, 1989), ont été mises en évidence avec des valeurs de q_c de l'ordre de 0,020 dans l'Ourthe inférieure.

La taille du matériel transporté par charriage dépend bien évidemment du type de crues mais également du type de rivières et spécialement de l'énergie disponible, cette dernière étant généralement appréhendée par le biais des puissances spécifiques (Petit, 1994). La taille du matériel mobilisé et transporté dépend également des sites qui caractérisent la rivière. Mais les seuils apparaissent comme les lieux où les forces tractivas sont les plus faibles en période de crues et ils agissent donc comme des filtres pour la charge de fond; de telle sorte, la taille du matériel tapissant les seuils donne une estimation (par excès) de la compétence effective des rivières (Petit, 1987). Dans l'Ourthe orientale, le matériel mobilisable atteint 70 mm, ce qui est également le cas dans l'Ourthe inférieure lors de crues banales mais le matériel mobilisé au moins localement dépasse 120 mm lors de crues de type trentenal. (Petit *et al.*, 1995).

La distance parcourue par la charge de fond sous l'effet d'une crue mobilisatrice dépend évidemment de la durée et de l'importance de cette crue, de la taille du matériel mais également de la dimension de la rivière. Dans des rivières de dimension modeste, les éléments mobilisés peuvent parcourir une centaine de mètres sous l'effet d'une seule crue, ce qui, vu la dimension de ces rivières, est loin d'être négligeable puisque cela implique que ce matériel a franchi plusieurs méandres complets et donc plusieurs types de formes qui leur sont associés tels que les seuils. Sur l'Ourthe inférieure, des éléments marqués se sont déplacés de plusieurs dizaines de mètres lors de crues nettement inférieures au débit à pleins bords. Toutefois il convient de distinguer la distance parcourue par des éléments isolés et le flux global de la charge de fond. Peu d'informations sont disponibles quant à la vitesse de transit de l'ensemble de la charge de fond. Toutefois, en se basant sur la vitesse moyenne de dissolution des calcaires d'une part, sur la distance à partir de laquelle on ne retrouve plus aucun calcaire dans le lit de la rivière d'autre part, Duchesne et Pissart (1985) ont déduit que l'avancée de la charge de fond dans l'Ourthe inférieure était seulement de 500 m par siècle.

1.5.3. DELIMITATION AND CONSTRUCTION OF THE FLOODPLAIN

Delimitation of the alluvial plain and the flooding areas

On geological maps the deposits of the valley are designated by the name "recent alluvial valley deposits". The maps are on a scale of 1/40,000, for the most part drawn up at the end of the 19th century. The zones concerned incorporate sometimes lower terraces (situated outside the flood plain) and do not correspond to the flooding areas.

A complete documentation of the flooding zone has been drawn up by the MET (Atlas of flooding areas). It presents several points of interest but some problems persist.

- It consists of a survey of a well defined flood (that of 1984 in the Ourthe and Amblève basin). The recurrence of this flood exhibits a wide inter and intra basin variability, due to regional disparities of rainfall. Further, the flood used for the drawing of this atlas does not represent a standard recurrence (for example, decennial floods), whilst it is absolutely required to delimit the flooding areas for a fixed flood recurrence. Given the variability of the recurrence of the 1984 flood in the different subbasins, one must conclude that the limits of the flooding areas have been determined from non-homogeneous criteria.
- One does not know on what basis the statements have been established: aerial photographs (but at which time of the flood), the flood high-water marks (corresponding to the maximum extension of the flood), inquiries in public services (administration centres, fire brigade, civil protection), verification in situ by the public. In short, it is not known at which moment of the flood (therefore its discharge and recurrence) have been collected.
- Detailed analysis in selected reaches of the river reveal some deep deficiencies in this survey. Indeed some flooded areas have not been included in the atlas although they lie clearly in the floodplain. Other areas considered as being in the flooded areas are evidently situated in inaccessible places for

obstante, basándose en la velocidad media de disolución de las calizas por una parte, en la distancia a partir de la cual no se encuentra ninguna piedra caliza en el río por otra, Duchesne y Pissart (1985) han podido deducir que el avance del transporte de fondo en el Ourthe inferior es tan sólo de 500 m cada siglo.

1.5.3. DELIMITACIÓN Y FORMACIÓN DE LA LLANURA ALUVIAL

Delimitación de la llanura aluvial y de las zonas inundables

En los mapas geológicos, los depósitos de fondo de valle se representan como "aluviones modernos"; se trata de mapas a escala 1/40.000, elaborados en su mayor parte a finales del siglo XIX; las zonas en cuestión engloban a veces terrazas bajas (situadas fuera de la llanura aluvial) y no corresponden estrictamente a las zonas inundables.

El MET ha elaborado un documento completo en materia de zonas inundables (Atlas de zonas inundables) para las principales cuencas hidrográficas. Aunque tiene un interés evidente, subsisten sin embargo algunos problemas fundamentales:

- Se trata de un trabajo elaborado durante una avenida concreta y bien definida (la de 1984 en la cuenca del Ourthe y del Amblève). Esta avenida tiene un período de retorno diferente en las diferentes cuencas y subcuencas, lo cual es totalmente lógico, dado que un mismo suceso hidroclimático susceptible de producir inundaciones puede presentar disparidades regionales. Por otro lado, la crecida considerada en la elaboración del citado atlas de zonas inundables no corresponde necesariamente a una recurrencia estándar (por ejemplo la crecida decenal), mientras que lo deseable es establecer la extensión de las zonas inundadas durante una crecida de período de retorno concreto. Ello hace que, dada la variabilidad de la recurrencia de esta crecida en función de las cuencas, la extensión de las zonas inundables se ha determinado según un criterio no homogéneo.
- Se ignora sobre qué base se ha efectuado la delimitación: fotos aéreas (en qué momento de la crecida se han tomado), restos de la crecida (correspondientes al máximo de la crecida), encuestas sobre los servicios públicos (administración municipal, bomberos, protección civil), verificación in situ entre la población; en resumen, no se sabe en qué momento de la crecida (ni el caudal, ni el período de retorno) se han efectuado las medidas.

1.5.3. DÉLIMITATION ET ÉDIFICATION DE LA PLAINE ALLUVIALE

Élimitation de la plaine alluviale et des zones inondables

Sur les cartes géologiques, les dépôts de fond de vallée sont repris sous la dénomination "alluvions modernes des vallées"; il s'agit de cartes au 1/40.000, levées pour la plupart à la fin du XIXe siècle; les zones en question englobent parfois des basses terrasses (situées en dehors de la plaine alluviale) et ne correspondent pas strictement aux zones inondables.

Un document complet en matière de zones inondables des principaux bassins hydrographiques a été élaboré par le MET (Atlas des zones inondables). Bien qu'il présente un intérêt évident, différents problèmes fondamentaux subsistent néanmoins.

- Il s'agit d'un "survey" élaboré lors d'une crue bien définie (celle de 1984 pour le bassin de l'Ourthe et de l'Amblève). Cette crue a une récurrence totalement différente d'un bassin et même d'un sous-bassin à l'autre, ce qui est tout à fait compréhensible dans la mesure où un même événement hydroclimatique susceptible d'engendrer des inondations présente des disparités régionales. D'autre part, la crue prise en considération dans l'élaboration de cet atlas des zones inondables ne correspond pas nécessairement à une récurrence "standard" (par exemple la crue décennale), alors qu'il convient impérativement d'établir l'extension des zones inondables pour une crue de récurrence bien déterminée. Ceci implique le fait que, étant donné la variabilité de la récurrence de cette crue en fonction des bassins, l'extension des zones inondables a été déterminée sur base d'un critère qui n'est pas homogène.
- On ignore sur quelle base les relevés ont été effectués: photos aériennes (mais alors prises à quel moment de la crue), laisses de crues (correspondant au maximum de la crue), enquêtes auprès des services publics (administration communale, pompiers, protection civile), vérification in situ auprès de la population; bref on ne sait pas à quel moment de la crue (donc de son débit et donc de sa récurrence) ces relevés ont été effectués.

the highest floods (high terraces or slopes) more than 20 meters above the alluvial plain.

■ Edification of the flood plain

The rate of edification of the floodplain has been estimated using stratigraphical markers, identified by Henrottay (1973). These consist of scoria produced by the previous metal industry set up in the Ardennes valleys from mid 13th century. The debris from this industry were thrown into the rivers. Thus, when microscopic scorias are present in alluvial deposits, they affirm that the latter was built after the 13th century. As shown by Figure 12, dealing with the Amblève valley, the whole floodplain width contains microscopic scoria deposited after the 13th century, which gives a rate of accumulation of 20 cm per century.

1.5.4. INVENTORY OF FLORA AND FAUNA

■ Fish

The qualitative and quantitative characteristics of fish fauna in the Ourthe basin are well known since electrofishing census well performed since the 1950s (Timmermans, 1957, 1960; Huet and Timmermans, 1966, Micha, 1971b; Philippart, 1977, 1980). The most complete information was collected in the course of a regional survey into vertebrate species and particularly fish population of Wallonie carried out in 1979-1982 (Philippart and Vranken, 1983a, b). This basic information below has been updated through several more recent studies.

The ichthyofauna is made up of 28 indigenous species, among the 41 native species recorded in the whole of the Meuse basin (Philippart *et al.*, 1988) and 8 introduced species. In relation to the 19th century (De Selys-Longchamps, 1842; Gens, 1888) at least 5 species must be considered to have disappeared: river loach (*Cobitis taenia*), burbot (*Lotta lotta*), river lamprey

- Los análisis de detalle realizados en algunos sectores del río muestran que hay verdaderas lagunas: algunas zonas no están incluidas en la zona inundable, cuando se encuentran claramente en el lecho mayor; en contraposición, otras zonas incluidas en la zona inundable se encuentran visiblemente sobre terrazas elevadas o sobre la ladera, más de 20 metros por encima de la llanura aluvial, en alturas inaccesibles durante las crecidas.

■ Formación de la llanura aluvial

La velocidad de formación de la llanura aluvial se ha estimado gracias a la identificación de un marcador estratigráfico, reconocido por Henrottay (1973); está constituido por escorias, testigos de la antigua industria metalúrgica que se instaló en los valles de las Ardenas a partir de mediados del siglo XIII. Los residuos de esta industria se han vertido en los ríos, con lo que la presencia de estas escorias microscópicas en un depósito fluvial testimonia que este último se ha formado después de mediados del siglo XIII. Así, como se puede ver en la Figura 12, referida al valle del Amblève, los limos de crecida que existen en toda la anchura de la llanura aluvial contienen estas escorias microscópicas y se han depositado después de mediados del siglo XIII, lo que indica una velocidad de acumulación igual a 20 cm/siglo.

1.5.4. INVENTARIO DE FAUNA Y FLORA

■ Peces

Las características cualitativas y cuantitativas de la fauna piscícola en la cuenca del Ourthe son muy bien conocidas gracias a los estudios realizados mediante la técnica de pesca eléctrica desde los años 1950 (Timmermans, 1957, 1960; Huet y Timmermans, 1966; MICHA, 1971b; Philippart, 1977, 1980). Las informaciones más completas se han obtenido durante una amplia encuesta regional llevada a cabo en 1979-1982 en relación con las especies de vertebrados y en particular los peces en Valonia (Philippart y Vranken, 1983a, b). Estas informaciones básicas se han actualizado con motivo de varios estudios recientes.

La fauna piscícola comprende actualmente 28 especies indígenas, de un total de 41 censadas en el conjunto de la cuenca del Mosa (Philippart *et al.*, 1988), y 8 especies introducidas. Con relación a la situación existente en el siglo XIX (De Selys-Longchamps, 1842; Gens, 1888), hay que constatar la

- Des analyses de détail réalisées sur certains secteurs de rivière, montrent qu'il existe de véritables lacunes: certaines zones ne sont pas reprises en zone inondable alors qu'elles se trouvent clairement en lit majeur; en revanche d'autres zones reprises en zone inondable se trouvent visiblement sur des terrasses élevées ou carrément en position de versant à plus de 20 m au-dessus de la plaine alluviale, à des hauteurs inaccessibles lors de crues.

■ Edification de la plaine alluviale

La vitesse d'édification de la plaine alluviale a été estimée grâce à l'identification d'un marqueur stratigraphique, reconnu par Henrottay (1973); il consiste en scories, témoins de l'industrie métallurgique d'autrefois qui s'est installée dans les vallées ardennaises à partir du milieu du XIIIe siècle. Les débris de cette industrie ont été rejetés dans les rivières, si bien que, lorsque ces scories microscopiques sont présentes dans un dépôt fluvial, elles attestent que ce dernier s'est édifié après le milieu du XIIIe siècle. Ainsi, comme on peut le voir à la Figure 12 qui se rapporte à la vallée de l'Amblève, l'ensemble des limons de crue contiennent des scories microscopiques et ont donc été déposés après le milieu du XIIIe siècle, ceci sur toute la largeur de la plaine alluviale, ce qui donne une vitesse d'accumulation égale à 20 cm/siècle.

1.5.4. INVENTAIRE DE LA FAUNE ET DE LA FLORE

■ Poissons

Les caractéristiques qualitatives et quantitatives de la faune des poissons dans le bassin de l'Ourthe sont très bien connues grâce à des études réalisées par la technique de pêche à l'électricité depuis les années 1950 (Timmermans, 1957, 1960; Huet et Timmermans, 1966, Micha, 1971b; Philippart, 1977, 1980). Les informations les plus complètes ont été acquises lors d'une vaste enquête régionale menée en 1979-1982 sur les espèces de vertébrés et en l'occurrence de poissons en Wallonie (Philippart et Vranken, 1983a, b). Ces informations de base ont été actualisées à l'occasion de plusieurs études récentes.

L'ichtyofaune comprend actuellement 28 espèces indigènes sur 41 recensées dans la totalité du bassin de la Meuse (Philippart *et al.*, 1988) et 8 espèces introduites. Par rapport à la situation qui existait au 19ème siècle (De Selys-Longchamps, 1842, Gens, 1888) doivent être considérées comme disparues

(*Lampetra fluviatilis*), shad (*Alosa finta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). This latter species has been subject to reintroduction within the framework of the programme "Meuse Saumon 2000" (Philippart, 1985; Philippart *et al.*, 1994) but at the present time (May 1997) there is no evidence of adult salmon return in Belgium and a fortiori in the Ourthe and its tributaries.

For each species of fish maps have been drawn up on the basis of absence/presence and the abundance of biomass, and the relationships between abundance of specific populations and local physiographical and physico-chemical characteristics have been described (Philippart, 1989). Based on quantitative inventories made at sample stations, it has been possible to evaluate through extrapolation the stock (biomass) of fish (by species and by total) in the main river sections and their tributaries (Figure 13). For the whole of the basin there are estimated to be 127 tons shared among the Ourthe lower basin (97.5 t), the Amblève lower basin (28.6 t) and the Vesdre lower basin (0.9 t). This biomass is essentially made up of 5 species: trout (*Salmo trutta*), common grayling (*Thymallus thymallus*), barbel (*Barbus barbus*), nase (*Chondrostoma nasus*) and shub (*Leuciscus cephalus*). Studies are under way to characterise the fish fauna in artificial lakes caused by dams (Robertville, Butgenbach, Nisramont) some of which (Robertville and Butgenbach) have been artificially populated by coregonids (*C. peled* and *C. lavaretus*) (Philippart, 1996; Mergen *et al.*, 1997).

In addition to a single fish fauna inventory, as far as the Ourthe basin is concerned, there is very precise information concerning fish ecology, particularly those species, called rheophilous, living in rivers with rapid flows and gravelly beds. Several of these studies have been concerned with aspects of the fish populations dynamics which are very dependent on the morphology, hydrology, and hydraulics of the Ourthe hydro-system (problems of eco-hydraulics).

- The migratory characteristics of Salmonid fish (trout, grayling) along the axes Meuse-Ourthe, Ourthe, and Ourthe-tributaries and sub-tributaries, in relation to discharge, water temperature and the presence of artificial physical obstacles (ancient navigation dams and new mobile dams with touristic or flood control functions) (Ovidio *et al.*, 1996).
- The characteristics of reproduction habitats and micro-habitats of fish species called lithophilous which deposit their eggs in a pebbly and well percolated gravelly substratum (Atlantic salmon, trout, grayling, barbel) or on gravel (hotu, chub, river bleak), always in shallow zones with rapid currents.

desaparición de al menos 5 especies en la cuenca del Ourthe (y de la parte belga de la cuenca del Mosa): la locha de río (*Cobitis taenia*), la lota (*Lotta lotta*), la lamprea de río (*Lampetra fluviatilis*), el sábalo (*Alosa finta*) y el salmón atlántico (*Salmo salar*). Esta última especie es objeto desde 1988 de una reintroducción, en el marco del programa 'Meuse Saumon 2000' (Philippart, 1985; Philippart *et al.*, 1994), pero por el momento (mayo de 1997) no se ha señalado la presencia de ningún salmón adulto en Bélgica y, consecuentemente, ni en el Ourthe ni en sus afluentes.

Para cada una de las especies de peces, se han establecido mapas de distribución en términos de presencia-absencia y de abundancia de biomasa y se han descrito las relaciones entre la abundancia de las poblaciones específicas y las características fisiográficas y fisicoquímicas del medio (Philippart, 1989). Gracias a los inventarios cuantitativos de las poblaciones en estaciones de muestreo, se ha podido evaluar por extrapolación el stock (biomasa) de peces (por especie y en total) en los principales tramos de río y afluentes (Figura 13). En el conjunto de la cuenca, dicho stock se ha estimado en 127 toneladas repartidas entre las subcuencas del Ourthe (97,5 t), del Amblève (28,6 t) y del Vesdre (0,9 t), y constituidas esencialmente por 5 especies: la trucha (*Salmo trutta*), el salmón común (*Thymallus thymallus*), el barbo de río (*Barbus barbus*), el *Chondrostoma nasus* y el cacho (*Leuciscus cephalus*). Hay estudios en marcha para caracterizar la fauna piscícola de los principales embalses (Robertville, Butgenbach, Nisramont) algunos de los cuales (Robertville y Butgenbach) han sido poblados artificialmente con *C. peled* y *C. lavaretus* (Philippart, 1996; Mergen *et al.*, 1997).

Además del simple inventario de la fauna piscícola, en la cuenca del Ourthe se dispone de informaciones muy precisas sobre la ecología de los peces y especialmente de las especies, denominadas reófilas, características de los ríos de corriente rápida y lecho de gravas. Algunos de estos estudios se han referido a aspectos de la ecología y de la dinámica de las poblaciones piscícolas dependientes de la morfología, de la hidrología y de la hidráulica del sistema fluvial del Ourthe (problemas de ecohidráulica):

- Caracterización de la emigración de salmónidos (trucha, salmón) en los ejes Mosa-Ourthe, Ourthe y Ourthe-afluentes y subafluentes, en relación con el caudal, la temperatura del agua y la presencia de obstáculos físicos artificiales (antiguas presas de navegación y nuevas presas móviles para usos recreativos o de control de avenidas) (Ovidio *et al.*, 1996).

du bassin de l'Ourthe (et du bassin de la Meuse belge) au moins 5 espèces: la loche de rivière (*Cobitis taenia*), la lotte (*Lotta lotta*), la lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*), l'aloise (*Alosa finta*) et le saumon atlantique (*Salmo salar*). Cette dernière espèce fait l'objet depuis 1988 d'une réintroduction dans le cadre du programme 'Meuse Saumon 2000' (Philippart, 1985; Philippart *et al.*, 1994) mais à ce jour (mai 1997) aucun saumon adulte n'a encore été signalé en Belgique et a fortiori dans l'Ourthe et ses affluents.

Pour chacune des espèces de poissons, on a établi des cartes de distribution en termes de présence-absence et d'abondance en biomasse et l'on a décrit les relations entre l'abondance des populations spécifiques et les caractéristiques physiographiques et physico-chimiques du milieu (Philippart, 1989). Grâce aux inventaires quantitatifs des populations dans des stations échantillons, on a pu évaluer par extrapolation le stock (biomasse) de poissons (par espèce et total) dans les principaux tronçons de rivière et affluents (Figure 13). Pour l'ensemble du bassin, il est estimé à 127 tonnes réparties entre les sous-bassins de l'Ourthe (97,5 t), de l'Amblève (28,6 t) et de la Vesdre (0,9 t) et essentiellement constitués par 5 espèces: la truite (*Salmo trutta*), l'ombre commun (*Thymallus thymallus*), le barbeau fluviatile (*Barbus barbus*), le hotu (*Chondrostoma nasus*) et le chevaine (*Leuciscus cephalus*). Des études sont en cours pour caractériser la faune des poissons des principaux lacs artificiels de barrage (Robertville, Butgenbach, Nisramont) dont certains (Robertville et Butgenbach) ont été artificiellement peuplés avec des corégones (*C. peled* et *C. lavaretus*) (Philippart, 1996; Mergen *et al.*, 1997).

En plus du simple inventaire de la faune ichtyenne, on dispose pour le bassin de l'Ourthe d'informations très précises sur l'écologie des poissons et spécialement des espèces, dites rhéophiles, caractéristiques des rivières à courant rapide et à lit graveleux. Plusieurs de ces études ont concerné des aspects de l'écologie et de la dynamique des populations de poissons qui sont très dépendants de la morphologie, de l'hydrologie et de l'hydraulique de l'hydro-système Ourthe (problèmes d'éco-hydraulique):

- Caractérisation de la migration des poissons salmonidés (truite, ombre) dans les axes Meuse-Ourthe, Ourthe, et Ourthe - affluents et sous-affluents, en relation avec le débit, la température de l'eau et la présence d'obstacles physiques artificiels (anciens barrages de navigation et nouveaux barrages mobiles à fonction touristique ou de contrôle des crues) (Ovidio *et al.*, 1996).

- A study of the influence of physical characteristics (flow, temperature, suspended load material) on the success of fish reproduction and on the ability of populations to renew themselves (Philippart, 1989)

All these studies are aimed at establishing appropriate measures for the preservation and restoration of habitats indispensable for the long term maintenance of fish populations. An example is given in section 3.2.2. where the 1994 strategy of "ecological dredging" of the gravel banks in the Ourthe is highlighted.

◆◆◆ Other vertebrates

One still finds in the Ourthe basin, particularly in the Nisramont lake area, a few specimens of otter (*Lutra lutra*), a mammal close to extinction in Belgium (Libois and Hallet, 1995).

◆◆◆ Invertebrates

The invertebrate fauna of the Ourthe basin is also well known thanks to research carried out since the 1950s (Symoens, 1957; Micha, 1970a, b, 1971a; Herman, 1985; Marneffe *et al.* 1995), notably through studies of the biological quality of water through the biotic index derived from the Tuffery and Verneaux (1967) method. Recent studies have begun to consider population of zooplankton in the artificial lakes of the eastern basin (Marneffe, private information papers), through studies carried out on the eutrophication of these reservoirs constructed for tourism and the production of drinking water.

◆◆◆ Vegetation

The aquatic vegetation (algae, mosses, macrophytes) is also well known thanks to research on natural characteristics

- Caracterización de los hábitats y micro-hábitats de reproducción de las especies, denominadas litófilas, que depositan sus huevos en un sustrato de guijarros y gravas bien filtrado (salmón atlántico, trucha, salmón común, barbo de río) o en las graveras (*Chondrostoma nasus*, gobio, cacho, breca pajel), siempre en zonas poco profundas de corriente rápida.
- El estudio de la influencia de los factores físicos del medio (caudal, temperatura, cantidad de materia en suspensión) en el éxito de la reproducción de los peces y en la eficacia de la renovación de las poblaciones (Philippart, 1989).

Todos estos conocimientos tienen como objetivo la definición de las medidas apropiadas para la preservación y la restauración de los hábitats acuáticos indispensables para el mantenimiento duradero de las poblaciones piscícolas. En el apartado 3.2.2. se muestra un ejemplo, al tratar sobre la estrategia de "dragado ecológico" propuesto para los bancos de gravas del Ourthe en 1994.

◆◆◆ Otros vertebrados

En la cuenca del Ourthe, especialmente en la región del embalse de Nisramont, se encuentran algunos ejemplares de nutria (*Lutra lutra*), mamífero que se encuentra al borde de la extinción en Bélgica (Libois y Hallet, 1995).

◆◆◆ Invertebrados

La fauna de invertebrados de la cuenca del Ourthe es también muy bien conocida gracias a las investigaciones llevadas a cabo desde los años 1950 (Symoens, 1957; Micha, 1970a, b, 1971a; Herman, 1985; Marneffe *et al.*, 1995), fundamentalmente en el marco de estudios enfocados a la evaluación de la calidad biológica del agua, basada en la utilización de índices bióticos, según el método de Tuffery y Verneaux (1967). Desde hace poco tiempo, se vienen realizando estudios sobre las poblaciones de zooplancton en los embalses del este de la cuenca (Marneffe, comunicación personal), en el marco de investigaciones sobre la eutrofización de estos embalses destinados a la producción de agua potable y al turismo.

◆◆◆ Vegetación

La vegetación acuática (algas, musgos, plantas superiores) es también muy conocida gracias a las investigaciones sobre las

- Caractérisation des habitats et micro-habitats de reproduction des espèces de poissons dits lithophiles qui déposent leurs œufs dans un substrat de cailloux et graviers bien percolés (saumon atlantique, truite, ombre, barbeau fluviatile) ou sur les graviers (hotu, vandoise, chevaine, ablette spirin), toujours dans des zones peu profondes à courant rapide.
- L'étude de l'influence des facteurs physiques du milieu (débit, température, charge des matières en suspension) sur le succès de la reproduction des poissons et sur l'efficacité du renouvellement des populations (Philippart, 1989).

Toutes ces connaissances visent à définir les mesures appropriées de préservation et de restauration des habitats aquatiques indispensables au maintien durable des populations de poissons. Un exemple sera donné au point 3.2.2. quand on évoquera la stratégie de "dragage écologique" des bancs de gravier proposée pour l'Ourthe en 1994.

◆◆◆ Autres vertébrés

On trouve encore dans le bassin de l'Ourthe, spécialement dans la région du lac de Nisramont, quelques spécimens de loutre (*Lutra lutra*), une espèce de mammifère au bord de l'extinction en Belgique (Libois et Hallet, 1995).

◆◆◆ Invertébrés

La faune des Invertébrés du bassin de l'Ourthe est aussi très bien connue grâce à des recherches réalisées depuis les années 1950 (Symoens, 1957; Micha, 1970 a,b, 1971a; Herman, 1985; Marneffe *et al.*, 1995), notamment dans le cadre d'études sur l'évaluation de la qualité biologique de l'eau par la méthode des Indices biotiques dérivée de la méthode Tuffery et Verneaux (1967). Depuis peu, des études sont entreprises sur les populations de zooplancton dans les lacs artificiels de l'Est du bassin (Marneffe, comm. personnelle), dans le cadre de recherches sur l'eutrophisation de ces plans d'eau affectés à la production d'eau potable et au tourisme.

◆◆◆ Végétation

La végétation aquatique (algues, mousses, plantes supérieures) est aussi très bien connue grâce à des recherches sur

and on the biological quality of waters (Symoens, 1957; Descy and Empain, 1981; Empain *et al.*, 1980; Fabri, 1977; Fabri and Leclercq, 1977, 1979), notably through using the Diatomic Index. Recently, studies have begun on the algae, especially blue algae (some of which are toxic for humans and fish), in the artificial lakes of the eastern basin (Wirsing and Hoffmann, 1977) submitted to strong eutrophication.

1.5.5. WATER QUALITY

Based on chemical and biological analysis (Diatomic Index, Biotic Index) the Ourthe basin appears overall of sufficient quality but with a marked tendency towards eutrophication (Figure 14) resulting from various agricultural spill-offs and household waste (Descy, 1992; Vanden Bossche, 1994). Industrial pollution is found in the mid Amblève which receives, via the Warche, waste from paper processing and tanning (such as chromium and organic material) (Marneffe *et al.*, 1995). Since the last century the Vesdre has been badly polluted by wool industries in the Verviers region and by non-ferrous (zinc) metal works close to Liège but the situation has strongly improved over the last years through the restructuring of industrial activities and the setting up of treatment plants. One should note the existence of pollution by heavy metals (zinc, mercury) in the Ourthe basin, with telluric origins (Desir, 1979; Descy and Empain, 1981).

In 1989 Walloon regional government decided to focus several university teams in the building of the PEGASE model (Planning and management of water treatment) (Smitz, 1991) applied to the Meuse and Escaut basins. The model integrates data on hydrological characteristics of the hydrographic network and on waste water (localised and diffuse, eventually purified) released. PEGASE assesses the water quality at all network points by integrating the whole processes, including self-purification acting in the ecosystem. The resulting water quality is measured in terms of minimum dissolved oxygen concentration at low waters and also by phosphates, nitrates, ammonia, organic carbons, phytoplankton and heterotrophic bacteria. The PEGASE model allows for a simulation of the effect of new forms of household, agricultural and industrial waste on a basin or sub-basin, as well as the effect of different strategies of purifying sewage water. The application of PEGA-

características naturales y sobre la calidad biológica del agua (Symoens, 1957; Descy y Empain, 1981; Empain *et al.*, 1980; Fabri, 1977; Fabri y Leclercq, 1977, 1979), realizadas fundamentalmente por el método del Índice Diatómico. Desde hace poco tiempo, se vienen realizando estudios sobre las poblaciones de algas y principalmente de algas azules (algunas de las cuales son tóxicas para los peces y para el hombre) en los embalses de este de la cuenca sometidos a una fuerte eutrofización (Wirsing y Hoffmann, 1977).

1.5.5. CALIDAD DEL AGUA

Con base en análisis químicos y biológicos (índices diatómicos, índices bióticos), la cuenca del Ourthe presenta globalmente una calidad bastante buena, si bien existe una tendencia acusada a la eutrofización (Figura 14) debido a las aportaciones agrícolas difusas y a los vertidos domésticos (Descy, 1992; Vanden Bossche, 1994). Hay una contaminación industrial en el tramo medio del Amblève que recibe, a través del Warche, los vertidos de una papelera y de una fábrica de curtidos (sales de cromo, materias orgánicas) (Marneffe *et al.*, 1995). Desde el pasado siglo, el Vesdre ha sido gravemente contaminado por la industria lanera en la región de Verviers y por la metalurgia del zinc en las proximidades de Lieja, si bien la situación ha mejorado mucho en el curso de los últimos años con la desaparición de esas industrias y la puesta en práctica de actuaciones de depuración. En la cuenca del Ourthe hay que señalar además la existencia de casos de contaminación del agua por metales pesados (zinc, mercurio) de origen telúrico (Desir, 1979; Descy y Empain, 1981).

En 1989, el Ministerio de la Región Valona de Bélgica ha decidido la puesta a punto, por parte de varios grupos de trabajo universitarios, del modelo PEGASE (Planificación y Gestión del Saneamiento del Agua) (Smitz, 1991) aplicable esencialmente a las cuencas del Mosa y del Escaut. Las entradas del modelo son las características hidrológicas de la red hidrográfica y los vertidos (difusos y puntuales, eventualmente depurados) de sustancias contaminantes que llegan a la misma. PEGASE calcula la calidad resultante en cualquier punto de la red, integrando el conjunto del proceso, incluida la función de autodepuración del ecosistema. La calidad resultante se define por la concentración mínima de oxígeno disuelto en estiaje y también por otras variables tales como fosfatos, nitratos, amoníaco, carbono orgánico, fitoplancton y bacterias heterótrofas. El modelo PEGASE permite

les caractéristiques naturelles et sur la qualité biologique de l'eau (Symoens, 1957; Descy et Empain, 1981; Empain *et al.*, 1980; Fabri, 1977; Fabri et Leclercq, 1977, 1979), notamment par la méthode de l'Indice Diatomique. Depuis peu, des recherches sont entreprises sur les populations d'algues et notamment d'algues bleues (dont certaines toxiques pour les poissons et pour l'homme) dans les lacs artificiels de l'est du bassin (Wirsing et Hoffmann, 1997) soumis à une forte eutrophisation.

1.5.5. QUALITÉ DE L'EAU

Sur la base des analyses chimiques et biologiques (indices diatomiques, indices biotiques) le bassin de l'Ourthe apparaît globalement comme d'assez bonne qualité mais il existe une tendance marquée à l'eutrophisation (fig 14) résultant des apports agricoles diffus et des rejets domestiques (Descy, 1992; Vanden Bossche, 1994). Il existe une pollution industrielle dans la moyenne Amblève qui reçoit, via la Warche, des rejets d'une papeterie et d'une tannerie (sels de chrome, matières organiques) (Marneffe *et al.*, 1995). Depuis le siècle dernier, la Vesdre a été gravement polluée par l'industrie lainière dans la région de Verviers et par la métallurgie des non-ferreux (zinc) à proximité de Liège mais la situation s'est fortement améliorée au cours des dernières années avec la disparition de ces industries et la mise en œuvre d'actions d'épuration. Il faut signaler l'existence dans le bassin de l'Ourthe de cas de pollution de l'eau par des métaux lourds (zinc, mercure) d'origine tellurique (Desir, 1979; Descy et Empain, 1981).

En 1989, le Ministère de la Région wallonne de Belgique a décidé de la mise au point par plusieurs équipes universitaires du modèle PEGASE (Planification et Gestion de l'Assainissement des eaux) (Smitz, 1991) applicable essentiellement aux bassins de la Meuse et de l'Escaut. Le modèle est alimenté par les caractéristiques hydrologiques du réseau hydrographique et par les rejets (diffus et ponctuels, éventuellement épurés) de substances polluantes qui y aboutissent. PEGASE calcule la qualité résultante en tout point du réseau en intégrant l'ensemble du processus, y compris la fonction auto-épuratrice de l'écosystème. La qualité résultante est mesurée par la concentration minimale en oxygène dissous à l'étiage mais aussi par d'autres variables telles que phosphates, nitrates, ammoniac, carbone organique, phytoplancton et bactéries hétérotrophes. Le modèle PEGASE permet de simu-

SE to the Ourthe basin allows to simulate the minimum dissolved oxygen concentration in low waters as a result of treatment of all waste waters produced in the whole hydrographic system.

1.5.6. WATER USE

The Ourthe basin is characterised by the coexistence of a diverse number of water uses.

► Production of drinking water

The production of water for human consumption is carried out in various forms (Figure 15):

- by abstraction from reservoir lakes (the Gileppe at Baelen: 8,100,000 m³/year; Vesdre at Eupen: 28,200,000 m³/year; Ourthe at Nisramont: 5,000,000 m³/year; Warche at Robertville: 690,000 m³/year, making a total of about 42,000,000 m³)
- by source tapping by the CILE in the Néblon basin (15,000,000 m³ in 1992)
- by exploiting underground mineral waters (Spa, Chaudfontaine, Chevron, etc.).

► Production of hydroelectricity

Several techniques are used in hydroelectricity production:

- Turbining water from large dam-reservoirs on the Warche (Butgenbach 1.8 MW; Robertville-Bévercé 11.6 MW), on upper Vesdre (Eupen 2.5MW; Gileppe 0.6 MW) and on the Ourthe (Nisramont 1.1 MW);
- The water storage at the Coo-Trois-Ponts powerplant (1,164 MW) on the Amblève which consists of turbining during peak demand the water that was repumped in this artificial basin during the night;
- The pressure pipeline system bypassing a meander across the hill between the Lorcé-Chevron dam on the Amblève and the Heid-de-Goreux powerplant (7.7 MW), upstream of Remouchamps;
- Several micro-powerplants on the Ourthe (Méry 0.2 MW, Grosses Battes at Angleur 1.4 MW), the Amblève (7 locations producing 0.7 MW) and the Vesdre (3 locations producing 0.3 MW).

The total hydroelectric installed power in the Ourthe

simular, en una cuenca o en una subcuenca, el impacto de nuevos vertidos domésticos, agrícolas e industriales, así como el efecto de diferentes estrategias de depuración de aguas residuales. La aplicación de PEGASE a la cuenca del Ourthe permite la simulación de la concentración mínima de oxígeno disuelto en estiaje resultante de la depuración de todas las aguas residuales producidas en el conjunto hidrográfico.

1.5.6. USOS DEL AGUA

En la cuenca del Ourthe coexisten de manera relativamente equilibrada un gran número de usos del agua.

► Producción de agua potable

La producción de agua destinada al consumo humano se realiza según diferentes modalidades (Figura 15):

- por toma en los embalses (La Gileppe en Baelen: 8.100.000 m³/año; Vesdre en Eupen: 28.200.000 m³/año; Ourthe en Nisramont: 5.000.000 m³/año; Warche en Robertville: 690.000 m³/año) con una producción total de 42.000.000 m³ aproximadamente.
- por captación de manantiales por el CILE en la cuenca del Néblon (15.000.000 m³ en 1992).
- por explotación de aguas minerales subterráneas (Spa, Chaudfontaine, Chevron, etc.).

► Producción hidroeléctrica

Se utilizan diversas técnicas para producir electricidad:

- El turbinado de agua almacenada en grandes embalses: en el Warche (Butgenbach 1,8 MW; Robertville-Bévercé 11,6 MW), en el tramo alto del Vesdre (Eupen 2,5 MW; Gileppe 0,6 MW) y en el Ourthe (Nisramont 1,1 MW);
- El sistema reversible de la central de Coo-Trois-Ponts (1.164 MW) en el Amblève, que consiste en turbinar el agua desde un embalse artificial de almacenamiento durante los períodos de gran demanda y en llenar este depósito por bombeo durante la noche;
- El sistema de conducción forzada que corta un meandro a través de una colina entre la presa de poca altura de Lorcé-Chevron en el Amblève y la central Heid-de-Goreux (7,7 MW) aguas arriba de Remouchamps;
- Varias microcentrales en el Ourthe (Méry 0,2 MW; Grosses Battes en Angleur 1,4 MW), en el Amblève (7 unidades, con un total de 0,7 MW) y en el Vesdre (3 unidades, con un total de 0,3 MW).

ler dans un bassin ou sous-bassin l'impact de nouveaux rejets domestiques, agricoles et industriels ainsi que l'effet de différentes stratégies d'épuration des eaux usées. L'application de PEGASE au bassin de l'Ourthe permet la simulation de la concentration minimale en oxygène dissous à l'étiage qui résulte de la l'épuration de toutes les eaux usées produites dans cet ensemble hydrographique.

1.5.6. USAGES DE L'EAU

Dans le bassin de l'Ourthe coexistent de manière relativement équilibrée un grand nombre d'usages de l'eau.

► Production d'eau potable

La production d'eau destinée à l'alimentation humaine s'opère selon plusieurs modalités (Figure 15):

- par prélèvement dans des lacs réservoirs (La Gileppe à Baelen: 8.100.000 m³/an; Vesdre à Eupen: 28.200.000 m³/an; Ourthe à Nisramont: 5.000.000 m³/an; Warche à Robertville: 690.000 m³/an) pour une production totale d' env. 42.000.000 m³;
- par captage des sources par la CILE dans le bassin du Néblon (15.000.000 m³ en 1992)
- par exploitation des eaux minérales souterraines (Spa, Chaudfontaine, Chevron, etc.).

► Production d'hydroélectricité

Plusieurs techniques sont utilisées pour produire l'hydroélectricité:

- Le turbinage d'eau stockée dans de grands barrages –réservoirs sur la Warche (Butgenbach 1,8 MW; Robertville-Bévercé 11,6 MW), sur la haute Vesdre (Eupen 2,5 MW, Gileppe 0,6 MW) et sur l'Ourthe (Nisramont 1,1 MW);
- Le système à accumulation en vigueur à la centrale de Coo-Trois-Ponts (1.164 MW) sur l'Amblève qui consiste à turbiner l'eau d'un bassin artificiel de stockage pendant les périodes de forte demande et à remplir ce bassin par pompage pendant la nuit;
- Le système de conduite forcée recoupant un méandre à travers la colline entre le barrage peu élevé de Lorcé-Chevron sur l'Amblève et la centrale Heid-de-Goreux (7,7 MW), à l'amont de Remouchamps;
- Plusieurs micro-centrales sur l'Ourthe (Méry 0,2 MW, Grosses Battes à Angleur 1,4 MW), l'Amblève (7 unités totalisant 0,7 MW) et la Vesdre (3 unités totalisant 0,3 MW).

basin is about 1,192 MW (28 MW from the 18 streamline powerplants and 1.164 from the Coö accumulation powerplant). It represents 82% of the total hydroelectric power in the Walloon region and 17.7% of all forms of electric power in this region.

Commercial and public fish farms

There exist several industrial and small-scale commercial fish farms in the Ourthe basin, particularly concerning trout. The main operations are concentrated on the Amblève upstream of the confluence with the Warche, which is very polluted, as well as on the western Ourthe. One also finds in the basin small public owned salmonid hatcheries managed by the Administration of Natural Resources and the Environment and rustic salmon farms managed by fishermen associations with a view to repopulating the rivers.

Recreational fishing

Recreational fishing is much practised in all the rivers of the Ourthe basin, in public (season closed generally in march) and private (season closed october-mid march) forms as well as in various private water ponds, more or less totally isolated from the hydrographical water network ("put and take" fisheries). The proliferation of small private fishing ponds in the head waters is starting to cause ecological problems to management authorities.

Information on sport fishing exploitation in some parts of the Ourthe basin is available in various biological (captures evaluation) and socio-economical studies (U.R.P., 1981)

Nautical and aquatic leisure activities

Nautical and aquatic leisure activities are practised in several areas specially designed and managed by public bodies responsible of sports or by private enterprises (the lakes of Butgenbach and Robertville, Nautical Centre ADEPS at the Nisramont lake; kayak hiring centres on the Amblève at Coö and in different areas on the Ourthe, a kayak competition training track on the lower Ourthe at Colonster and Tilff) (Figure 16)

The canoing-kayaking is allowed on a free basis on water

La potencia hidroeléctrica total instalada en la cuenca del Ourthe asciende a 1.192 MW (28 MW de las 18 centrales fluyentes y 1.164 MW de la central reversible de Coö). Representa el 82% de la potencia hidroeléctrica total instalada en la región Valona y el 17,7% de la potencia eléctrica total de todo tipo instalada en dicha región.

Piscifactorías comerciales y públicas

En la cuenca del Ourthe existen varias explotaciones comerciales de cría industrial y artesanal de peces y particularmente de truchas. Las principales explotaciones están concentradas en el Amblève, aguas arriba de la confluencia con el Warche (muy contaminado), así como en el Ourthe oriental. Existen también en la cuenca pequeños criaderos de salmones del patrimonio público gestionados por la Administración de Recursos Naturales y del Medio Ambiente, así como criaderos rústicos de salmones gestionados por asociaciones de pescadores cuyo objetivo es la repoblación de los ríos.

Pesca recreativa

La pesca recreativa se practica mucho en todos los ríos de la cuenca del Ourthe de régimen público (veda general en marzo) y de régimen privado (veda en octubre-mediados de marzo), así como en algunos estanques privados, más o menos aislados de la red hidrográfica (pesquerías del tipo "put and take"). La proliferación de estos pequeños estanques privados para pesca o recreo en las cabeceras de los cursos de agua comienza a plantear problemas de carácter ecológico a las autoridades encargadas de la gestión.

La información sobre la explotación haliéutica de algunas partes de la cuenca del Ourthe está contenida en varios estudios de carácter biológico (evaluación de las capturas) y socio-económico (U.R.P., 1981).

Usos recreativos y deportes náuticos

Las actividades de ocio y náuticas se practican en varias zonas especialmente acondicionadas y gestionadas por organismos públicos con competencia en el deporte o por empresas privadas (complejo de los embalses de Butgenbach y Robertville, Centro náutico ADEPS en el embalse de Nisramont; empresas de alquiler de kayaks en el Amblève en Coö y en diferentes municipios en el Ourthe, pista de entrenamiento para competiciones de kayaks en el tramo bajo del Ourthe, en Colonster y Tilff) (Figura 16).

La puissance hydroélectrique totale installée dans le bassin de l'Ourthe s'élève à 1.192 MW (28 MW pour les 18 centrales au fil l'eau et 1.164 pour la centrale à accumulation de Coö). Elle représente 82% de la puissance hydroélectrique totale installée en Région wallonne et 17,7% de la puissance électrique toutes formes installée dans cette région.

Piscicultures commerciales et publiques

On trouve dans le bassin de l'Ourthe plusieurs exploitations commerciales d'élevage industriel et artisanal de poissons et particulièrement de truites. Les principales exploitations sont concentrées sur l'Amblève en amont du confluent avec la Warche très polluée ainsi que sur l'Ourthe orientale. On trouve aussi dans le bassin de petites salmonicultures domaniales gérées par l'Administration des Ressources Naturelles et de l'Environnement ainsi que des salmonicultures rustiques gérées par des associations de pêcheurs en vue du repeuplement des rivières.

Pêche récréative

La pêche récréative est fort pratiquée dans toutes les rivières du bassin de l'Ourthe en régime public (fermeture générale en mars) et en régime privé (fermeture en octobre -mi mars) ainsi que dans certains plans d'eau privés ou plus ou moins totalement isolés du réseau hydrographique (pêcheries du type "put and take"). La prolifération des petits étangs privés de pêche ou d'agrément sur les têtes de cours d'eau commence à poser des problèmes d'incidence écologique aux autorités gestionnaires.

Des informations sur l'exploitation haliéutique de certaines parties du bassin de l'Ourthe sont disponibles dans plusieurs études à caractère biologique (évaluation des prises) et socio-économiques (U.R.P., 1981).

Loisirs aquatiques et nautiques

Les loisirs aquatiques et nautiques sont pratiqués dans plusieurs zones spécialement aménagées et gérées par des organismes publics chargés du sport ou par des exploitants privés (complexe des lacs de Butgenbach et Robertville, Centre nautique ADEPS au lac de Nisramont; entreprises de location de kayak sur l'Amblève à Coö et dans différentes communes sur l'Ourthe, piste d'entraînement au kayak de compétition en bas de Ourthe à Colonster et Tilff) (Figure 16).

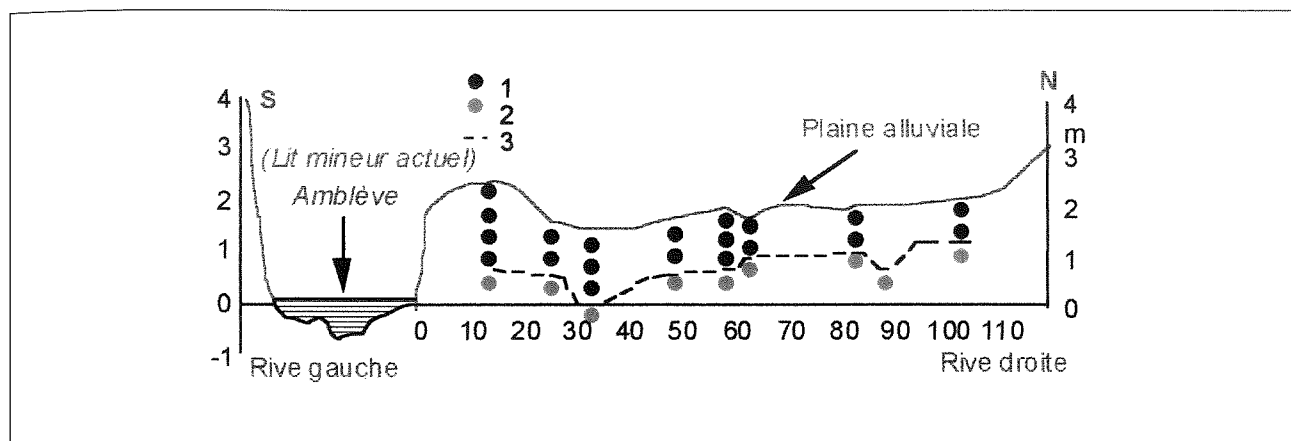


Figure 12 Transversal profile of the Amblevé flood plain, several km upstream of its confluence with the Ourthe; the presence of microscopic scoria in the floodplain permits an estimation of sedimentation since the 13th century. 1. Silt with scoria 2. Gravel 3. Border between silt and gravel

Figura 12. Perfil transversal de la llanura aluvial del Amblevé, unos kilómetros aguas arriba de su confluencia con el Ourthe; la presencia de escorias microscópicas en la llanura aluvial permite estimar la importancia de la sedimentación desde el siglo XIII. 1. Limos con escorias; 2. Guijarros; 3. Límite entre el limo de crecidas y los guijarros

Figure 12. Profil transversal de la plaine alluviale de l'Amblevé, quelques kilomètres en amont de sa confluence avec l'Ourthe; la présence de scories microscopiques dans la plaine alluviale permet d'estimer l'importance de la sédimentation depuis le XIII^e siècle. 1. Limons avec scories; 2. Cailloutis; 3. Limite entre limon de crue et cailloutis

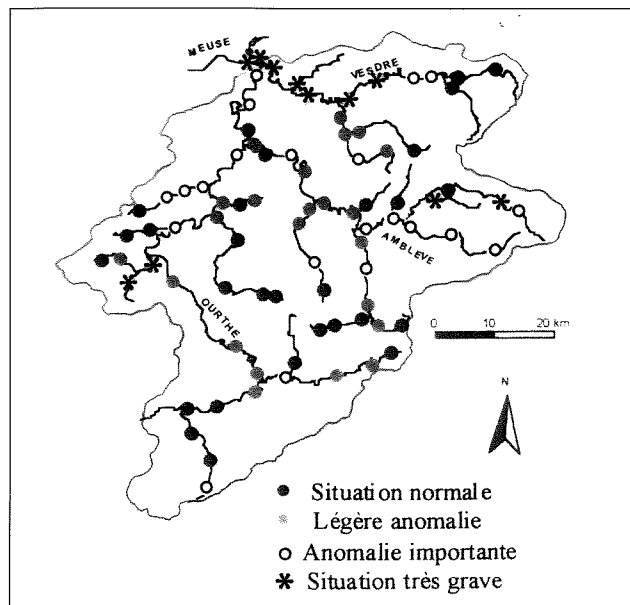


Figure 14. Eutrophication

Figura 14. Eutrofización

Figure 14. Eutrophisation

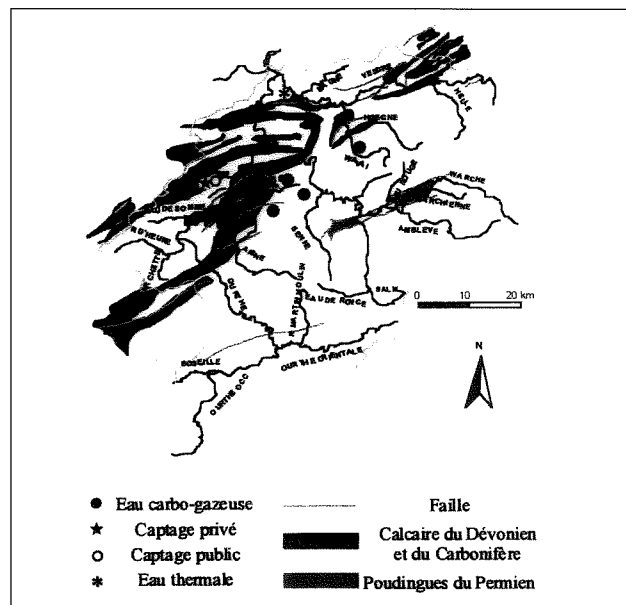


Figure 15. Main aquifers and tapping

Figura 15. Principales acuíferos y captaciones

Figure 15. Principaux aquifères et captages

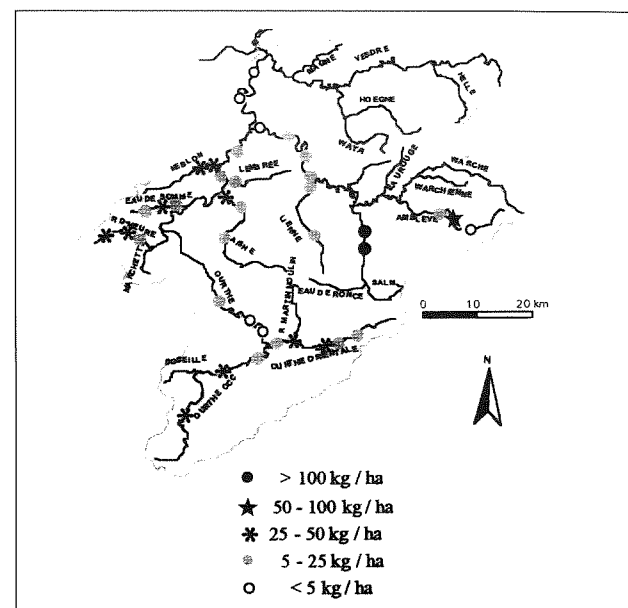


Figure 13 Distribution map of trout abundance in biomass

Figura 13. Mapa de distribución y de abundancia en biomasa de la trucha

Figure 13. Carte de distribution et d'abondance en biomasse de la truite

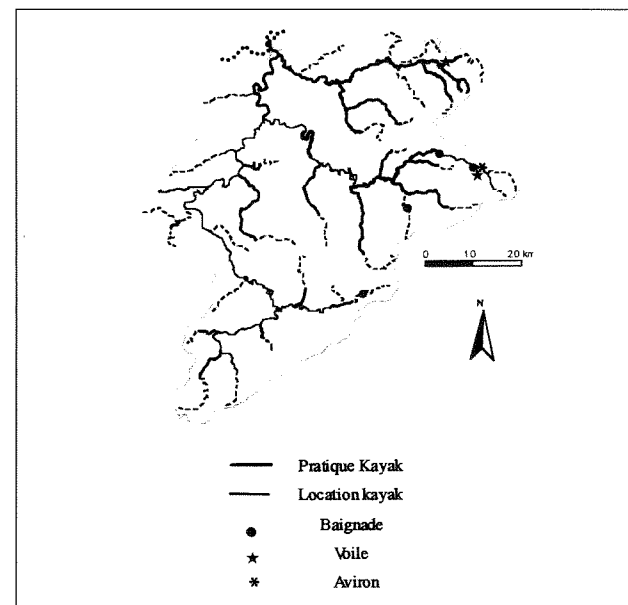


Figure 16 Aquatic leisure activities in the Ourthe basin

Figura 16. Usos recreativos acuáticos en la cuenca del Ourthe

Figure 16. Loisirs aquatiques dans le bassin de l'Ourthe

courses and reaches regulated in terms of environmental protection (forbidding of kayaking when the discharge is below a threshold of 2 m³/s in the Ourthe downstream of the Nisramont dam) and coexistence with other river users (angling).

The intense development of water sports and diving has led to a degradation of natural aquatic sites. In order to balance this situation, the Walloon government has regulated the movement of small boats. In a general, small boats are banned on the administratively called "non-navigable waters", with the exception of small fishing boats, kayaks and inflatable boats, that are the ones used by accompanied children. In the case of the Ourthe the movements of these small boats and diving are only permitted on navigable sections as on certain non-navigable reaches of the 1st category indicated in the information leaflets.

Seasonal and hourly restrictions are also applied, with temporary limitations taken from time to time by the Minister in charge of the nature conservation.

The kayakers and divers may enter or leave the river only in restricted places designated by the Minister in charge of the non-navigable water course, and by the manager of navigable waterways.

■ Reception, self-purification and transfert of sewage water

As all hydrographical networks, the Ourthe basin collects, self-purifies in a more or less complete form and transfers downstream the sewage waters of domestic, industrial and agricultural origin. Apart from some blackspots linked to significant waste outflow, this function is not generally disturbed (cf. water quality).

■ Natural reserves and special protection zones

The Ourthe basin contains several complete nature reserves, including the Hautes-Fagnes reserve, which protect wetlands of great scientific and educational value.

La canoa-kayak puede practicarse libremente en ríos y tramos de río definidos mediante una reglamentación y siempre que se cumplan ciertas condiciones relativas al medio ambiente (prohibición del kayak cuando el caudal es menor que 2 m³/s en el Ourthe, aguas abajo de la presa de Nisramont) y a otros usuarios del río (pescadores, en el día en que se levanta la veda).

El desarrollo importante de la práctica de los deportes náuticos y del submarinismo ha provocado una degradación de los parajes acuáticos naturales. Con el fin de remediar esta problemática, el Gobierno de Valonia ha acordado regular la circulación de embarcaciones. En general, se prohíbe el uso de embarcaciones en los ríos no navegables, con excepción de barcas de pesca, de kayaks y de pequeñas embarcaciones hinchables, que son las utilizadas para fines recreativos por los menores de edad acompañados. En el caso del Ourthe, la botadura, circulación de embarcaciones y el submarinismo tan sólo están permitidos en las zonas navegables, así como en algunos tramos no navegables de primera categoría debidamente señalados en los folletos explicativos.

Se aplican también restricciones de tipo estacional y horario acompañadas, en su caso, por limitaciones temporales impuestas por el Ministerio encargado de la conservación de la naturaleza.

El embarque y desembarque de kayaks, así como la zambullida debe efectuarse únicamente en las áreas de acceso designadas por el Ministerio encargado de los ríos no navegables y por el responsable de las vías de agua navegables.

■ Recepción, autodepuración y transporte de las aguas residuales

Como ocurre en todas las redes hidrográficas, la cuenca del Ourthe asegura la recepción, la autodepuración más o menos completa y el transporte hacia aguas abajo de las materias contaminantes de origen doméstico, industrial y agrícola. Dejando de lado algunos puntos negros correspondientes a vertidos importantes, esta función no está demasiado perturbada globalmente (cf. calidad del agua).

■ Reservas naturales y zonas especiales de protección

La cuenca del Ourthe contiene varias reservas naturales integrales, entre las que cabe señalar la de Hautes-Fagnes, que incluye zonas húmedas de gran valor científico y didáctico.

Le canoé-kayak peut être pratiqué librement dans des cours d'eau et secteurs de cours d'eau définis par une réglementation et moyennant le respect de certaines conditions relatives au respect de l'environnement (interdiction du kayak quand le débit tombe en dessous d'une valeur seuil de 2 m³/s dans l'Ourthe en aval du barrage de Nisramont) et des autres utilisateurs de la rivière (pêcheurs le jour des ouvertures et avant - après).

L'essor important de la pratique des sports nautiques et de la plongée a entraîné une dégradation des sites aquatiques naturels. Afin de remédier à cette problématique, le Gouvernement wallon a adopté un arrêté réglementant la circulation des embarcations. D'une façon générale, les embarcations sont interdites sur les cours d'eau non navigables, à l'exception des barques de pêche, des kayaks et embarcations gonflables de taille réduite, dont celles utilisées à des fins récréatives par des mineurs d'âge accompagnés. Dans le cas de l'Ourthe, la mise à l'eau, la circulation de ces embarcations et la plongée ne sont admises que sur les parties navigables ainsi que sur certains tronçons non navigables de première catégorie dûment repris dans des feuillets explicatifs.

Des restrictions d'ordre saisonnières et horaires sont d'application, accompagnées le cas échéant de limitations temporaires prises par la Ministre en charge de la conservation de la nature.

L'embarquement et le débarquement ainsi que la mise à l'eau des plongeurs doit s'effectuer uniquement aux aires d'accès désignées par le Ministre en charge des cours d'eau non navigables, et par le responsable des voies d'eau navigables.

■ Réception, auto-épuración et transport des eaux usées

Comme tous les réseaux hydrographiques, le bassin de l'Ourthe assure la réception, l'auto-épuración plus ou moins complète et le transport vers l'aval de matières polluantes d'origine domestique, industrielles et agricoles. Mais mis à part quelques points noirs correspondant à des rejets importants, cette fonction n'est pas globalement trop perturbée (cf. qualité des eaux).

■ Réserves naturelles et zones spéciales de protection

Le bassin de l'Ourthe contient plusieurs réserves naturelles intégrales, dont la réserve des Hautes-Fagnes qui abritent des zones humides de grande valeur scientifique et didactique.

Many Special Protection Zones (S.P.Z.) set up after the "Directive CEE 92/43 Habitat" are entirely (Fagne de Machamps, Plateau des Tailles, the two "Ourthes") or in part (Hautes-Fagnes Eifel) contained in the Ourthe basin. These Z.P.S. contain numerous aquatic or semi-aquatic habitats of great biological interest.

1.5.7. EXISTENCE OF GIS IN THE BASIN

Within the context of hydrological modelisation taking into account field topography as well as land use maps, an intensive use of digitalised maps has been undertaken on the eastern Ourthe for the DGRNE and on the mid and lower Ourthe for the SETHY. These studies have been aimed at quantifying the impact of dry flood control reservoirs on the risk zones.

The maps used resulted from contour lines digitalisation of I.G.N maps to 1/10,000. These processes of interpolation then provide information on a fixed grid with an unitary length of 100 m.

In order to produce a regional development plan of the Walloon territory, the authorities plan to achieve high-performance land-use maps. This tool is fundamental for determining present conditions and for analysing possible trends of development. In this context, a map was produced through numerical analysis of data from space remote sensing (satellites Landsat TM and Spot XS). This document, on a scale 1/50,000, presents notably 16 land-use classes obtained by numerical analysis, by cross-checking information from aerial photographs or from existing maps. Several layers of information have been superimposed, such as planimetric or toponomical (road networks, railways, hydrography) vectors, as well as a representation in black and white of raw satellite information of the area outside the Walloon Region.

Hay varias Zonas de Protección Especial (Z.P.S.), según la "Directiva CEE 92/43 Hábitat", que están incluidas total (Fagne de Machamps, Meseta de Tailles, Los dos Ourthe) o parcialmente (Hautes-Fagnes Eifel) en la cuenca del Ourthe. Estas Z.P.S. contienen numerosos hábitats acuáticos o semi-acuáticos de gran interés biológico.

1.5.7. EXISTENCIA DE GIS EN LA CUENCA

En el marco de la aplicación de modelos hidrológicos, que tienen en cuenta la topografía del terreno y los mapas de uso del suelo, se han empezado a utilizar de manera intensiva los mapas digitalizados, tanto en el Ourthe oriental para el DGRNE como en los tramos medio e inferior del Ourthe para el SETHY. Hay que recordar que estos estudios tenían como objetivo la cuantificación del impacto de los embalses secos, de retención de crecidas, en las zonas de riesgo.

Los mapas utilizados provenían de la digitalización de las curvas de nivel de los mapas del I.G.N. a escala 1/10.000. Los procedimientos de interpolación permiten en este caso disponer así de información en una malla regular de 100 metros de longitud unitaria.

Por otro lado, con el fin de elaborar un plan regional de ordenación del territorio, la Región de Valonia ha tratado de dotarse de una buena cartografía sobre los usos del suelo. Esta herramienta es fundamental tanto para analizar la situación actual como para evaluar las posibles tendencias evolutivas. En estas condiciones, se ha elaborado un mapa mediante tratamiento numérico de datos obtenidos mediante teledetección espacial (satélites Landsat TM y Spot XS). Este documento, a escala 1/50.000, refleja principalmente 16 clases de ocupación del suelo obtenidas bien por tratamiento numérico o por contraste de informaciones proporcionadas por fotos aéreas o documentos cartográficos existentes. Se han superpuesto varias capas de información, como elementos vectoriales planimétricos o toponímicos (red de carreteras, red ferroviaria, red hidrográfica) así como una representación en blanco y negro de la información bruta facilitada por el satélite para la parte exterior a la región valona.

Plusieurs Zones de Protection Spéciales (Z.P.S.) au sens de la "Directive CEE 92/43 Habitat" sont incluses totalement (Fagne de Machamps, Plateau des Tailles, Les deux Ourthe) ou partiellement (Hautes-Fagnes Eifel) dans le bassin de l'Ourthe. Ces Z.P.S. contiennent de nombreux habitats aquatiques ou semi-aquatiques de grand intérêt biologique.

1.5.7. EXISTENCE DE GIS DANS LE BASSIN

Dans le cadre de l'application de modèles hydrologiques distribués prenant en compte la topographie du terrain ainsi que les cartes d'occupation de sol, une utilisation intensive de cartes digitalisées a été entreprise tant dans le cadre de l'Ourthe orientale pour le compte de la DGRNE, que dans le cadre de l'Ourthe moyenne et inférieure pour le compte du SETHY. Pour rappel, ces études visaient à quantifier l'impact de bassins secs, rétenteurs de crues, sur les zones à risque.

Les cartes utilisées provenaient de la digitalisation de courbes de niveau des cartes I.G.N. au 1/10.000. Des procédures d'interpolation assurent alors une information sur un grid régulier exploité dans ce cas sur une longueur unitaire de 100 m.

Par ailleurs, afin d'élaborer un plan régional d'aménagement du territoire wallon, la Région Wallonne a souhaité se doter d'une cartographie performante de l'utilisation du sol. Cet outil est fondamental tant pour analyser la situation existante que pour évaluer les évolutions tendanciennes possibles. Dans ces conditions, une carte a été réalisée par traitement numérique de données issues de la télédétection spatiale (satellites Landsat TM et Spot XS). Ce document à l'échelle 1/50.000 reprend notamment une occupation du sol représentée par 16 classes obtenues soit par traitement numérique, soit par recoupements d'informations issues de photographies aériennes ou de documents cartographiques existants. Plusieurs couches d'information sont superposées, comme des éléments vectoriels planimétriques ou toponymiques (réseau routier, ferroviaire, hydrographique) ainsi qu'une représentation noir et blanc de l'information brute satellitaire pour la partie extérieure à la Région Wallonne.

2. ORGANISATIONAL CONTEXT

2.1. LEGAL CONTEXT

2.1.1. LAWS

The special Act for institutional reforms of 8th august 1980, modified by the Act of 8th August 1988, makes effective the regionalisation of water administration in Belgium. Some normative aspects are retained on a national level and the regions must work within the context of European directives.

◆◆◆ Development (hydraulic) of the watercourse

The management (hydraulic) of non-navigable rivers of all categories is governed by the Act of 28th December 1967, called the Act of non-navigable watercourses. By virtue of this Act ordinary maintenance work, cleaning and repairing, is under the responsibility of managers corresponding to the level of classification of the watercourse (borough, province, region). The non-navigable Watercourse Department of Walloon Regional Ministry is only responsible for large improvement works, or modification of a meander or the longitudinal profile of the bed in order to prevent flooding, the reinforcement of banks, the building of flood retention basins, movable dams and the erection of dikes. All the operations on navigable waterways and canals have to be authorised by the Walloon Regional Minister for Equipment and Transport, who acts through various specialised departments (Hydraulic routes, Navigation Office, Landscaping Integration).

The ordinary and extraordinary work projects for non navigable waters with a fishery interest have to be systematically referred to the Department of Fishing and the provincial fish commissions.

◆◆◆ The quality of surface water

All that concerns the quality of surface waters in the Ourthe basin is governed by national laws and regional decre-

2. MARCO ORGANIZATIVO

2.1. MARCO LEGISLATIVO

2.1.1. LEYES

La Ley especial de reformas institucionales de 8 de agosto de 1980, modificada por la Ley de agosto de 1988, consagra la regionalización de la política hidráulica en Bélgica. Algunos aspectos normativos se consideran a nivel nacional y la política regional debe inscribirse en el marco de las Directivas europeas.

◆◆◆ Ordenación (hidráulica) de los cursos de agua

La ordenación (hidráulica) de los cursos de agua no navegables de cualquier categoría está regulada por la ley de 28 de diciembre de 1967, denominada Ley de los cursos de agua no navegables. En virtud de esta ley, los trabajos ordinarios de mantenimiento, limpieza y reparación son de responsabilidad de los gestores correspondientes, siendo éstos diferentes según el nivel de clasificación de los citados cursos de agua (municipio, provincia, región). El Servicio de los Cursos de agua no navegables del Ministerio de la Región valona es el único responsable de los trabajos extraordinarios de mejora o modificación de meandros o del perfil longitudinal del lecho para evitar las inundaciones, de los trabajos de consolidación de márgenes, de la creación de embalses de laminación, de presas móviles y de construcción de diques. Todas las intervenciones sobre los cursos de agua navegables y los canales dependen del Ministerio de Equipamiento y Transportes de la Región valona, que actúa a través de diversos servicios especializados (Vías hidráulicas, Oficina de la Navegación, Integración paisajística).

Para los proyectos de trabajos tanto ordinarios como extraordinarios en los cursos de agua no navegables de interés piscícola, se solicita sistemáticamente la opinión del Servicio de Pesca y de las Comisiones piscícolas provinciales.

◆◆◆ Calidad de las aguas superficiales

Todo lo que hace referencia a la calidad de las aguas superficiales en la cuenca del Ourthe está regulado por leyes naciona-

2. CONTEXTE ORGANISATIONNEL

2.1. CONTEXTE LEGAL

2.1.1. LOIS

La Loi spéciale des réformes institutionnelles du 8 août 1980, modifiée par la Loi du 8 août 1988 consacre la régionalisation de la politique de l'eau en Belgique. Certains aspects normatifs sont pris au niveau national et la politique des régions doit s'inscrire dans le cadre des Directives européennes.

◆◆◆ Aménagement (hydraulique) des cours d'eau

L'aménagement (hydraulique) des cours d'eau non navigables de toutes catégories est régi par la loi du 28 décembre 1967, dite Loi sur les cours d'eau non navigables. En vertu de cette loi, les travaux ordinaires d'entretien, de curage et de réparation sont sous la responsabilité des gestionnaires correspondant au niveau de classification du cours d'eau (commune, province, région). Le Service des Cours d'eau non navigables du Ministère de la Région wallonne est seul responsable pour tous les travaux extraordinaires d'amélioration ou de modification de méandre ou de profil en long du lit pour éviter les inondations, de consolidation des berges, de création de bassins d'écrêtement, de barrages mobiles et d'érection de digues. Toutes les interventions sur les cours d'eau navigables et les canaux dépendent du Ministère de l'Équipement et des Transports de la Région wallonne qui agit à travers divers services spécialisés (Voies hydrauliques, Office de la Navigation, Intégration paysagère).

Les projets de travaux ordinaires et extraordinaires sur les cours d'eau non navigables d'intérêt piscicole font systématiquement l'objet d'une demande d'avis après du Service de la Pêche et des Commissions piscicoles provinciales.

◆◆◆ Qualité des eaux de surface

Tout ce qui concerne la qualité des eaux de surface dans le bassin de l'Ourthe est régi par des lois nationales et des

es. The national framework law of 26th March 1971 regulates the release of sewage water onto surface water and the use of pollutants. The national Law of 24th May 1983 concerns the general norms of surface water quality objectives for specific uses. This law aims to transpose in the Belgian law the norms of the European Community. In the Walloon Region the regulations about surface water quality stems from the framework Decree of 7th October 1985 concerning the protection of surface water against pollution.

❖ Surface water quality objectives

The greater part of the watercourses in the Ourthe basin are listed according to surface water quality objectives corresponding to norms fixed by the EEC for different purposes:

- Drinking water (EEC directive 79/869): western and eastern Ourthe and the Nisramont dam lake, all the Warche basin upstream of the Robertville dam; Gileppe dam lake, Vesdre dam lake at Eupen and the watercourse upstream.
- Swimming water: (EEC directive 76/160): all the Warche basin upstream of the Robertville dam.
- Waters suitable for fish life, especially salmonid habitats (suitable for fish such as the trout and the salmon) (EEC directive 72/659): nearly the whole basin with the exception of sections of lower quality such as the Amblève, the Warche downstream of the Robertville dam, the Ourthe downstream of its confluence with the Amblève, the Vesdre downstream of the Eupen dam (Table 10).
- Natural kinds of water corresponding to the acidic water area (highland peat bogs area): upper Vesdre and Helle and Soor, Ronce.

The norms must be respected for 95% samples taken for pH parameters, BOD, NO₂, NH₃ and NH₄, and for 98% samples taken for temperature and dissolved oxygen. If the frequency of sampling is less than once a month, the value limits must be adhered to for all the samples.

❖ Sewage water waste

Industrial waste are regulated by law and have to respect general, industrial sector-related and, in some cases, particular fixed norms decreed by the authorities. The amount of waste is evaluated by Unit Pollutant Charge (UCP) which takes into account the volume of waste, the suspended matter load, the

les y decretos regionales. La ley marco nacional de 26 de marzo de 1971 reglamenta el vertido de aguas residuales en aguas superficiales y la utilización de productos contaminantes. La Ley nacional de 24 de mayo de 1983 se refiere a las normas generales que definen los objetivos de calidad de las aguas superficiales según sus usos. Esta ley tiene como objetivo adaptar la ley belga a las normas comunitarias EEC. A nivel de la Región valona, las disposiciones en materia de calidad de aguas superficiales se derivan del Decreto marco de 7 de octubre de 1985 de protección de las aguas superficiales frente a la contaminación.

❖ Objetivos de calidad de las aguas superficiales

La mayor parte de los cursos de agua de la cuenca del Ourthe se clasifican actualmente, en función de los objetivos de calidad correspondientes a normas fijadas por la CEE para diferentes usos, en la forma siguiente:

- Aguas potabilizables (directiva CEE 76/869): Ourthe oriental y occidental y embalse de Nisramont, toda la cuenca del Warche aguas arriba de la presa de Robertville; embalse del Gileppe, embalse del Vesdre en Eupen y cursos de agua que los alimentan (Figura 17).
- Aguas de baño (directiva CEE 76/160): toda la cuenca del Warche aguas arriba de la presa de Robertville.
- Aguas salmonícolas (aptas para la vida de peces tales como la trucha y el salmón) (directiva CEE 72/659): la casi totalidad de la cuenca, a excepción de los tramos que actualmente tienen menor calidad, como la totalidad del Amblève, el Warche aguas abajo de la presa de Robertville, el Ourthe aguas abajo de la confluencia con el Amblève y el Vesdre aguas abajo de la presa de Eupen (Tabla 10).
- Aguas naturales, correspondientes al ámbito de las aguas naturalmente ácidas: alto Vesdre y alto Helle, Soor y Ronce.

El 95% de las muestras deben cumplir normas relativas al pH, DBO, NO₂, NH₃ y NH₄, mientras que el 98% de las muestras deben cumplir las relativas a temperatura y oxígeno disuelto. Ahora bien, si la frecuencia de toma de muestras es menor que una al mes, las limitaciones deben ser cumplidas por la totalidad de las muestras.

❖ Vertidos de aguas residuales

Los vertidos industriales están sometidos a las correspondientes autorizaciones y deben respetar normas generales, normas sectoriales y, en algunos casos, normas particulares establecidas en los acuerdos de autorización. La importancia de los vertidos se evalúa en términos de Unidades de Carga

décrets régionaux. La loi cadre nationale du 26 mars 1971 réglemente le déversement des eaux usées dans les eaux de surface et l'utilisation de produits polluants. La Loi nationale du 24 mai 1983 concerne les normes générales définissant les objectifs de qualité des eaux de surface à usage déterminé. Cette loi a pour but de faciliter la transposition dans la loi belge des normes communautaires EEC. Au niveau régional de la Wallonie, les dispositions en matière de qualité des eaux de surface découlent du Décret cadre du 7 octobre 1985 sur la protection des eaux de surface contre la pollution.

❖ Objectifs de qualité des eaux de surface

La plupart des cours d'eau du bassin de l'Ourthe sont actuellement classés en fonction d'objectifs de qualité correspondant à des normes fixées par la CEE pour différents usages:

- Eaux potabilisables (directive CEE 79/869): Ourthe orientale et occidentale et lac du barrage de Nisramont, tout le bassin de la Warche en amont du barrage de Robertville; lac du barrage de de la Gileppe, lac du barrage de la Vesdre à Eupen et cours d'eau qui l'alimentent (Figure 17).
- Eaux de baignade (directive CEE 76/160): tout le bassin de la Warche en amont du barrage de Robertville.
- Eaux piscicoles salmonicoles (aptés à la vie des poissons salmonidés comme la truite et le saumon) (directive CEE 72/659): la presque totalité du bassin à l'exception des tronçons de moins bonne qualité actuelle comme toute l'Amblève, la Warche en aval du barrage de Robertville, l'Ourthe en aval du confluent avec l'Amblève, la Vesdre en aval du barrage d'Eupen (Tableau 10).
- Eaux naturelles correspondant au domaine des eaux acides pour des raisons naturelles: haute Vesdre et Helle et Soor, Ronce.

Le respect des normes doit être impératif pour 95% des échantillons pour les paramètres pH, DBO, NO₂, NH₃ et NH₄ et pour 98% des échantillons pour la température et l'oxygène dissous. Si la fréquence de prélèvement est inférieure à un prélèvement par mois, les valeurs limites doivent être respectées pour tous les échantillons.

❖ Rejets d'eaux usées

Les rejets industriels sont soumis à autorisation de déversement et doivent respecter des normes générales de déversement, des normes sectorielles et, dans certains cas, des normes particulières fixées dans des arrêtés d'autorisation. L'importance des rejets est évaluée en terme d'Unités de Charge Polluante

chemical oxygen demand, heavy metals and nutrients (phosphorous, nitrogen). Waste is taxed according to the amount of UCP.

Waste produced by intensive cattle breeding is considered to be industrial waste. Normal localised agricultural waste (directly released into rivers) or diffuse waste (liquid manure, fertiliser and pesticides spread over fields and farmlands) is calculated according to the type of activity (e.g. 1 bovine = 625 gC/d, 225 gC/d and 40 gP/d).

Domestic sewage water waste in sewers is calculated in terms of inhabitant equivalence (EH) based on the average daily waste of an inhabitant: volume of 180l, 90 g suspended load material (MES), 54 g biological demand of oxygen every 5 days (BOD5), 135 g chemical demand of oxygen (COD) and 10 g of Kjeldahl nitrogen.

Domestic waste is indirectly taxed by a charge of 8 FB/m³ of consumed drinking water.

The financial return from industrial and domestic sewage water waste taxation is allocated to purification projects.

Contaminante (UCC), lo cual tiene en cuenta el volumen del vertido, las materias en suspensión, la demanda química de oxígeno, los metales pesados y los nutrientes (nitrógeno, fósforo). El vertido está sometido a una tasa que es función de la cantidad de UCC.

Los vertidos procedentes de explotaciones ganaderas intensivas se consideran como vertidos industriales. Los vertidos agrícolas normales de carácter puntual (vertidos directos al río) o difuso (abonos y pesticidas extendidos sobre los campos de cultivo) se evalúan a partir de valores estándar asignados a cada tipo de actividad (por ejemplo, un ejemplar de ganado bovino = 625 gC/día, 225 gC/día y 40 gP/día).

El vertido de aguas residuales domésticas al alcantarillado se evalúa en términos de habitantes equivalentes (HE) a partir de un valor medio estándar por habitante y día: 180 litros de volumen, 90 gramos de materias en suspensión (MES), 54 g de DBO5, 135 de DQO y 10 g de nitrógeno Kjeldahl.

El gravamen de los vertidos domésticos se realiza de manera indirecta, mediante una tasa de 8 FB por cada m³ de agua potable consumida. Los fondos obtenidos por las tasas de vertidos industriales y domésticos se destinan a actuaciones de depuración.

(UCP) qui fait intervenir le volume du rejet, les matières en suspension, la demande chimique en oxygène, les métaux lourds et les nutriments (phosphore, azote). Le rejet est taxé en fonction du nombre d'UCP.

Les rejets issus des élevages intensifs sont considérés comme des eaux industrielles. Les rejets agricoles normaux ponctuels (rejets directs en rivière) ou diffus (lisiers, engrais et pesticides épandus sur les champs et cultures) sont évalués sur des bases déterminées en fonction du type d'activité (par ex. 1 bovin = 625 gC/j, 225 gC/j et 40 gP/j).

Le rejet d'eaux usées domestiques dans les égouts sont évalués en terme d'équivalent-habitant (EH) sur la base suivante pour le rejet quotidien moyen d'un habitant: 180 l de volume, 90 g de matières en suspension (MES), 54 g de demande biologique en oxygène en 5 jours (DBO5), 135 g de demande chimique en oxygène (DQO) et 10 g d'azote Kjeldahl.

La taxation des rejets domestiques se fait indirectement à travers une taxation de 8 FB par m³ d'eau potable consommée.

Le bénéfice des taxes sur les rejets des eaux usées industrielles et domestiques est affecté aux actions d'épuration.

Table 10. Parameter and value limits outlined in EEC directive 78/659 related to fish breeding waters (salmonid habitats and cyprinid habitats)

Tabla 10. Parámetros y valores límites mencionados en la Directiva CEE 78/659 relativa a las aguas piscícolas (calidad salmonícola y ciprinícola)

Tableau 10. Paramètres et valeurs limites mentionnées dans la Directive CEE 78/659 relative aux eaux piscicoles (qualités salmonicole et cyprinicole)

Parameters	Salmonid		Cyprinid	
	Value guide	Value required	Value guide	Value required
Temperature		< 21.5		< 28.0
Dissolved oxygen (mg O ₂ /l)	50% > 9 100% > 7	50% > 9	50% > 8 100% > 5	50% > 7
DBO5 (mg O ₂ /l)	< 3		< 6	
pH		6-9	6-9	
Non-ionised ammonia (mg N-NH ₃ /l)	< 0.005	< 0.025	< 0.005	< 0.025
Total Ammonia (mg N-NH ₄ /l)	< 0.03	< 0.778	< 0.15	< 0.778
Nitrites (mg N-NO ₂ /l)	< 0.003		< 0.009	
Material in suspension (mg/l)	< 25		< 25	

❖ *Control on sewage water waste and surface water quality*

- Checks on industrial emissions;
- a network of stations checking quality objectives in different protection zones and especially in swimming areas and in tourist rivers such as the Ourthe and the Amblève.

►►► **Recreational fishing**

Recreational fishing in open waters is governed by the Fishing Act of 1.7.1954 which is applied in two significant contexts: those where fishing rights belong to the riverside land owner (private fishing) or to the state (public fishing).

►►► **Leisure boating**

The traffic of kayaks on the basin watercourses is regulated by a law of the Walloon Government (30th June 1994) which organises authorised dates and hours, embarking and disembarking places and necessary minimum flow.

►►► **Conifer plantations**

Appart from general legislation concerning forest plantations, some arrangements applicable to all watercourses. Thus the law of 12th July 1973 concerning the conservation of water (adapted in the Walloon region by the decree of 11th April 1984, taking effect from 27th April 1985) bans the planting and replanting of conifers or allowing the development of their seeds in a distance 6m from riverbanks along the water course, including their spring. It is also forbidden to maintain conifers planted after 22nd September 1968 at a distance less than 6m from the riverbanks, these trees having to be removed during the year their existence is recorded (Tricot *et al.*, 1996). Furthermore in the valley floors registered by the land-use planning maps as "natural zones" or "natural reserves", it is forbidden to plant or allow seed development of conifers, apart from juniper and yew, even if they are to be found more than 6m from riverbanks.

❖ *Control de los vertidos de aguas residuales y de la calidad de las aguas superficiales*

- Control de emisión, en las industrias;
- red de estaciones para controlar los objetivos de calidad en las diferentes zonas de protección y especialmente en las zonas de baño y en los ríos turísticos, como el Ourthe y el Amblève.

►►► **Pesca recreativa**

La pesca recreativa en aguas libres está regulada por la ley de pesca del 1 de julio de 1954, que se aplica en dos tipos de ámbitos: en los que el derecho de pesca pertenece al propietario ribereño (pesca privada) o al estado (pesca pública).

►►► **Navegación recreativa**

La navegación de kayaks en los cursos de agua de la cuenca está regulada por un Acuerdo del Gobierno valón de 30 de junio de 1994, que establece las disposiciones relativas a las fechas y horas autorizadas, a los lugares de embarque-desembarque y a los caudales mínimos necesarios.

►►► **Plantación de especies resinosas**

Además de las disposiciones legales del Derecho Ordinario en materia de plantaciones forestales, hay algunas disposiciones aplicables a todos los cursos de agua. Así, la ley de 12 de julio de 1973, relativa a la conservación de la naturaleza (modificada en la región valona por el decreto de 11 de abril de 1984, que entró en vigor el 27 de abril de 1985) prohíbe plantar o replantar especies resinosas a menos de 6 metros de las márgenes de cualquier curso de agua, incluido su nacimiento. Está prohibido asimismo mantener árboles resinosos, cuya plantación se haya realizado con posterioridad al 22 de septiembre de 1968, a menos de 6 metros de las márgenes de los cursos de agua clasificados, debiendo ser eliminados durante el año de constatación de su presencia (Tricot *et al.*, 1996). Además, en los fondos de valle incluidos en el plan sectorial o en el proyecto de plan sectorial como "zona natural" o como "reserva natural", está prohibido la plantación o el desarrollo de especies resinosas, así como de tejos y enebros, incluso aunque se sitúen a más de 6 metros del curso de agua.

❖ *Contrôle des rejets des eaux usées et de la qualité des eaux de surface*

- Contrôle à l'émission dans les industries;
- réseau de stations pour le contrôle des objectifs de qualité dans les différentes zones de protection et spécialement dans les zones de baignade et dans les rivières touristiques comme l'Ourthe et l'Amblève

►►► **Pêche récréative**

La pêche récréative en eau libre est régie par la loi sur la pêche du 1.7.1954 qui s'applique à deux grands types de milieux: ceux où le droit de pêche appartient au propriétaire riverain (pêche privée) ou à l'état (pêche publique).

►►► **Navigation de loisir**

La navigation des kayaks sur les cours d'eau du bassin est régie par un Arrêté du Gouvernement wallon du 30 juin 94 qui prévoit des dispositions concernant les dates et heures autorisées, les lieux d'embarquement - débarquement et les débits minima nécessaires.

►►► **Plantation de résineux**

Outre les dispositions légales de Droit Commun en matière de plantations forestières, certaines dispositions sont applicables à tous les cours d'eau. Ainsi la loi du 12 juillet 1973 sur la conservation de la nature (modifiée pour la région wallonne par le décret du 11 avril 1984, entré en vigueur le 27 avril 1985) interdit de planter ou de replanter des résineux ou de laisser développer leur semis à moins de 6 m des berges de tout cours d'eau, en ce compris leur source. Il est interdit de maintenir des résineux dont la plantation a été effectuée après le 22 septembre 1968 à moins de 6 m des berges des cours d'eau classés, ces arbres doivent être enlevés dans l'année de la constatation de leur présence (Tricot *et al.*, 1996). En outre, dans les fonds de vallées inscrits au plan de secteur ou au projet de plan de secteur en "zone naturelle" ou en "réserve naturelle", il est interdit de planter ou de se laisser développer les semis de résineux autres que l'if et le genévrier, même si on se trouve à plus de 6 m du cours d'eau.

More localised rules are applicable to watercourses managed by provincial regulations on the one side, and navigable waters on the other.

Use of flooding areas

The definition of flooding areas to be registered in land-use planning maps is found in the Act of 28th December 1972 (Michel, 1994): "In flooding areas, the carrying out of works is either forbidden, or subject to special conditions, until the necessary measures are taken to avoid periodic flooding" (Art. 183, 7.5 of CWATUP). As noted by Michel (1994), this definition allows for various interpretations because the terms "periodic flooding" and "necessary measures" are not clearly defined.

Moreover, whilst flooding areas have figure in some preliminary land-use planning maps, they have never been registered in the actual adopted plans.

Finally, the appropriate authorities have to decide about the possibility of building in flooding areas. Thus in the case of a request to build and/or to parcel the Committee of Mayor and Deputies can refuse without referring to the opinion of the responsible functionary, basing their refusal on Article 183 (Michel, 1994). Because of their local knowledge, municipal authorities are competent to judge the opportunity to authorise projects in the flooding areas. More and more municipalities have become aware of the prominent role they can play in land-use development and they have undertaken the realisation of structure plans and municipal urbanisation regulations based on the decree of 27th April (Art. 188/4 and 188/9 of CWATUP). These structure plans must specify the land-use planning maps by best balancing the existing situations with those proposed for the municipality in the land-use planning map.

In other respect, Michel (1994) documents the week-end residential parks. The week-end residences are defined as: "(...) fixed or mobile shelters in one only level, overing up to 60 m² of surface, such as caravans, towed habitats (...), chalets, bungalows, cottage(...)" (Art. 119 of CWATUP).

"The residential week-end park must be situated in a recreation and sojourning zone. It must in no way be built on a scheduled protected site, nor in an unhealthy or flooding area (...)" (Art. 180 of CWaTUP).

"If the residential week-end park is situated on the edge of a watercourse or an impoundment, there must be an area free

Existen otras disposiciones más puntuales, que son aplicables, por una parte, a los cursos de agua regidos por los reglamentos provinciales y, por otra, a los cursos de agua navegables.

Utilización de zonas inundables

La definición que se debe incluir en los planes de sector de las zonas inundables está reflejada en el acuerdo del 28 de diciembre de 1972 (Michel, 1994): "La realización de actuaciones u obras en las zonas inundables está prohibida o subordinada a condiciones especiales, en tanto en cuanto no se lleven a cabo las medidas necesarias para evitar las inundaciones periódicas" (Art. 183, 7.5 del CWATUP). Tal como lo resalta muy adecuadamente Michel (1994), esta definición es un tanto ambigua, en el sentido de que el término "inundación periódica" y el de "medidas necesarias" no están claramente establecidos en el Código.

Por otra parte, aunque las zonas inundables figuraban en algunos anteproyectos de planes de sector, no se han incluido nunca en los planes de sector definitivos.

Finalmente, cabe señalar que son las autoridades competentes las que se deben pronunciar sobre la conveniencia de edificar en zona inundable. Así, ante una petición de permiso de edificación o de parcelación, el Colegio de concejales y alcalde municipales puede denegar el permiso, sin recabar la opinión del funcionario delegado, motivando dicha denegación en el artículo 183 (Michel, 1994). La autoridad municipal, debido al conocimiento que tiene del terreno, es por lo tanto la más indicada para juzgar sobre la conveniencia de autorizar un proyecto en zona inundable. Conscientes del papel que pueden desempeñar en la ordenación del territorio, cada vez más municipios se están dedicando a la realización de un esquema estructural y de un reglamento municipal de urbanismo según el decreto de 27 de abril de 1989 (Art. 188/4 y 188/9 del CWATUP). El esquema estructural municipal debe precisar el plan de sector, de manera que se lleve a cabo la mejor adaptación posible entre la situación existente y las afectaciones previstas en el plan de sector del municipio afectado.

Por otra parte, Michel (1994) proporciona algunas indicaciones relativas a los parques residenciales de fin de semana. En este sentido, las residencias de fin de semana están consideradas como "(...) lugares de abrigo, fijos o móviles, sin planta

D'autres dispositions plus ponctuelles sont applicables aux cours d'eau visés par les règlements provinciaux d'une part, aux cours d'eau navigables d'autre part.

Utilisation des zones inondables

La définition concernant les zones inondables à inscrire aux plans de secteurs est reprise dans l'arrêté du 28 décembre 1972 (Michel, 1994): "Dans les zones inondables, l'exécution des actes et travaux est soit interdite, soit subordonnée à des conditions spéciales, aussi longtemps que les mesures nécessaires ne sont pas réalisées en vue d'éviter les inondations périodiques" (Art. 183, 7.5 du CWATUP). Comme le note très justement Michel (1994), cette définition laisse certaines libertés d'interprétation, dans la mesure où le terme "inondation périodique" et "les mesures nécessaires" ne sont pas définis dans le Code.

Par ailleurs, bien que les zones inondables figuraient sur certains avant-projet de plan de secteurs, elles n'ont jamais été inscrites sur les plans de secteur.

Finalement, il appartient aux autorités compétentes de se prononcer sur l'opportunité de construire en zone inondable. Ainsi dans le cas d'une demande de permis de bâtir et/ou de lotir, le Collège des bourgmestre et échevins peut, dès réception du dossier de demande, refuser le permis sans se référer à l'avis du fonctionnaire délégué, en motivant son refus sur base de l'article 183 (Michel, 1994). Par la connaissance qu'elle a du terrain, l'autorité communale est donc la mieux indiquée pour juger de l'opportunité d'autoriser un projet en zone inondable. Conscientes du rôle moteur qu'elles peuvent jouer en aménagement du territoire, de plus en plus de communes s'engagent dans la réalisation d'un schéma de structure et d'un règlement communal d'urbanisme en application du décret du 27 avril 1989 (Art. 188/4 et 188/9 du CWATUP). Le schéma de structure communal doit préciser le plan de secteur de manière à réaliser la meilleure adéquation entre la situation existante et les affectations prévues dans le plan de secteur de la commune concernée.

Par ailleurs, Michel (1994) donne des indications quant aux parcs résidentiels de week-end, les résidences de week-end étant considérées comme: "(...) abris fixes ou mobiles sans étage, de 60 m² maximum de superficie au sol, tels que caravane, remorque d'habitation (...); chalet, bungalow, maisonnette (...)" (Art 119 du CWATUP).

from all buildings, accessible to the public, of a minimum width of 20 m calculated from the bank or average level of high water. This is so even if the water course is situated inside a residential week-end park. In this case the free area can be reduced to 8 m" (Art. 180 of CWATUP).

Protection of tapping zones

The allowed limit for the protection of tapping zones is defined by an Act published on 14th November 1991. The measures to follow in the protected zones were publicised on 14th June 1995 (Act. of 9th March 1995).

The regulation anticipates that a prevention zone be determined for all Category B water intakes from unconfined aquifers. This prevention zone is itself divided into two sub-zones, called respectively a near prevention zone (or zone IIa) and a distant prevention zone (zone IIb).

- The outer limit of zone IIa is situated at a distance from the intake installations corresponding to the time of the transfer of groundwater to these installations equal to 24 hours in saturated soils. Lacking this information this zone is considered to be limited by a line found at a minimal horizontal distance of 35 m from surface installations in the case of wells and by two lines found at a minimum distance of 25 m apart to each side of the longitudinal projecting surface axis, in the case of galleries.
- In the near prevention zones notably rubbish tips, pesticides and manure deposits, camp sites, sport and leisure, parking areas for more than 5 vehicles, the digging of new cemeteries, the construction of enclosed buildings for animals, notably cow-sheds and kennels are banned. The unloading and transfer of waste or purified water can only take place in sewers, evacuation pipes, or watertight gutters.

superior, con un máximo de 60 m² de superficie útil, tales como caravanas, remolques habitables (...); chalets, bungalows (...)" (Art. 119 del CWATUP).

"El parque residencial de fin de semana debe estar situado en una zona de recreo y de residencia. En ningún caso puede estar situado en un lugar insalubre o inundable (...)" (Art.180 del CWATUP).

"Si el parque residencial de fin de semana se sitúa al borde de un curso de agua o de una superficie de agua, es obligatorio disponer de una zona libre de cualquier instalación, accesible al público, con una anchura mínima de 20 metros desde la orilla o desde el nivel medio de aguas altas. Ocurre lo mismo si se trata de un curso de agua situado en el interior del parque residencial de fin de semana. En este caso, sin embargo, la anchura de la zona libre se puede reducir a 8 metros" (Art.180 del CWATUP).

Zona de protección de captaciones

Los límites establecidos para las zonas de protección de captaciones están definidas mediante un acuerdo aparecido en el Boletín Oficial del 14 de noviembre de 1995. Las medidas que se deben seguir en las zonas protegidas se han publicado en el del 14 de junio de 1995 (acuerdo del 9 de marzo de 1995).

La reglamentación prevé, para cualquier captación de agua de categoría B en acuífero libre, la determinación de una zona de prevención. Esta zona de prevención está dividida a su vez en dos subzonas, denominadas, respectivamente, zona de prevención próxima (o zona IIa) y zona de prevención lejana (zona IIb).

- El límite exterior de la zona IIa se sitúa a una distancia de la obra de captación tal que el tiempo de recorrido del agua subterránea hasta la obra en sí sea de 24 horas, en condiciones de suelo saturado. En ausencia de datos, se considera que esta zona está delimitada por una línea situada a una distancia horizontal mínima de 35 metros de las instalaciones superficiales, en el caso de pozos, y por dos líneas situadas, a una distancia mínima de 25 metros, a ambos lados de la proyección en superficie del eje longitudinal, en el caso de galerías.
- En la zona de prevención próxima se prohíbe la manipulación y almacenamiento de abonos y pesticidas, la instalación de campings, de campos de deporte y de recreo, las superficies destinadas al aparcamiento de más de cinco automóviles,

"Le parc résidentiel de week-end doit être situé dans une zone de récréation et de séjour. Il ne peut en aucun cas, être situé dans un site classé, ni dans un lieu insalubre ou inondable (...)" (Art.180 du CWATUP).

"Si le parc résidentiel de week-end se situe en bordure d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau, il est imposé une zone libre de toute installation, accessible au public, d'une largeur minima de 20 mètres calculées à partir de la rive ou du niveau moyen des hautes eaux. Il en va de même si un cours d'eau est situé à l'intérieur du parc résidentiel de week-end. Dans ce cas, la zone libre peut toutefois être ramenée à 8 mètres" (Art. 180 du CWATUP).

Zone de protection des captages

La limite admise pour les zones de protection des captages sont définies par un arrêté paru au Moniteur du 14 novembre 1991. Les mesures à suivre dans les zones protégées ont été publiées au Moniteur du 14 juin 1995 (arrêté du 9 mars 1995).

La réglementation prévoit qu'une zone de prévention doit être déterminée pour toute prise d'eau de la catégorie B en nappe libre. Cette zone de prévention est elle-même scindée en deux sous-zones, appelées respectivement zone de prévention rapprochée (ou zone IIa) et zone de prévention éloignée (zone IIb).

- La limite extérieure de la zone IIa est située à une distance de l'ouvrage de prise d'eau correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage égal à 24 heures dans le sol saturé. A défaut de cette donnée, on considère que cette zone est délimitée par une ligne située à une distance horizontale minimale de 35 mètres à partir des installations de surface, dans le cas de puits, et par deux lignes situées à 25 mètres minimum de part et d'autre de la projection en surface de l'axe longitudinal dans le cas des galeries.
- Dans la zone de prévention rapprochée, sont interdits notamment les décharges, les dépôts d'engrais et de pesticides, les terrains de camping, de sport et de loisirs, les surfaces destinées au parcage de plus de cinq véhicules automoteurs, l'implantation de nouveaux cimetières, l'implantation de nouveaux enclos couverts pour animaux et notamment d'étables et

- Zone IIb is found between the outer perimeter of zone IIa and the outer perimeter of the [registration] zone of replenishment area. However the outer perimeter of zone IIb may not be situated at a distance from the installation greater than that corresponding to a transfer time of groundwater equal to 50 days in saturated soil. When no sufficient information is available to delimit zone IIb according to the principles outlined above, the perimeter of this zone is distanced from the perimeter of zone IIa by:

- 100 m for sandy aquifers
- 500 m for gravelly aquifers, or the distance between the water course and the border of the floodplain aquifer
- 1,000 m for fissured or karstics aquifers

When there are preferential flow lines for the movement of groundwaters feeding the intake installations, zone IIb extends along these lines to a maximum distance of 1,000 m and with a width at least equal to that of zone IIa.

A set of banning orders is also anticipated.

2.1.2. RECOMMENDATION: RIVER CONTRACTS

The Walloon Region takes responsibility for non-navigable waters in respecting, maintaining, protecting and even rehabilitating degraded sites. Functions and uses devoted to the water courses can be classified as follows:

- Natural functions: biological, landscaping, hydraulic (collector of natural waters).
- "Artificial" functions: sanitation (evacuation of waste waters), economical (hydraulic power generation, gravel extraction, pumping of water for food or industry), navigation.
- Recreational and cultural functions (vestige of human activity: watermills...)

This growing appeal and awareness of public opinion towards the quality of life induces a new way of managing water courses based on a better, integration of hydraulic, environmental and socio-economical aspects.

la implantación de nuevos cementerios, la implantación de nuevos cercados cubiertos para animales y fundamentalmente la implantación de establos y pocilgas. Los vertidos y transferencias de aguas residuales o depuradas no pueden realizarse más que mediante conducciones impermeables (alcantarillas, conductos de evacuación, canalillos).

- La zona IIb está comprendida entre el perímetro exterior de la zona IIa y el perímetro exterior de la zona de influencia de la captación. El perímetro exterior de la zona IIb no puede estar situado a una distancia de la obra de captación mayor que la correspondiente a un tiempo de recorrido del agua subterránea hasta la captación igual a 50 días, en el caso de suelo saturado. En ausencia de datos suficientes, la distancia entre el perímetro de la zona IIb y el de la zona IIa se puede tomar igual a:

- 100 metros en las formaciones acuíferas arenosas;
- 500 metros en las formaciones acuíferas de gravas, o bien la distancia entre el curso de agua y el límite de la formación acuífera aluvial;
- 1.000 metros en las formaciones acuíferas fisuradas o cársticas.

Cuando existen direcciones de circulación preferencial de las aguas subterráneas hacia la captación, la zona IIb se extiende a lo largo de estas direcciones en una distancia máxima de 1.000 metros y con una anchura por lo menos igual a la de la zona IIa.

Están previstas asimismo una serie de prohibiciones.

2.1.2. RECOMENDACIÓN: LOS CONTRATOS DE RÍO

La Región Valona desarrolla su responsabilidad sobre los cursos de agua no navegables respetándolos, manteniéndolos, protegiéndolos e incluso rehabilitando algunos lugares degradados. Las funciones y usos atribuidos a los cursos de agua se pueden clasificar de la manera siguiente:

- Funciones naturales: biológicas, paisajísticas, hidráulicas (colector de las aguas naturales).
- Funciones "artificiales": sanitaria (evacuación de aguas residuales), económica (fuente de energía, extracción de materiales, tomas de agua con fines alimentarios o industriales), navegación.
- Funciones recreativas y culturales (testimonios de la actividad humana: molinos, etc.).

Ante esta demanda cada vez más intensa y ante la sensibilidad creciente de la opinión pública en relación con la calidad

de chenils, etc. Les déversements et transferts des eaux usées ou épurées ne peuvent avoir lieu que par des égouts, des conduits d'évacuation ou des caniveaux, étanches

- La zone IIb est comprise entre le périmètre extérieur de la zone IIa et le périmètre extérieur de la zone d'appel de prise d'eau. Toutefois le périmètre extérieur de la zone IIb ne peut être situé à une distance de l'ouvrage supérieure à celle correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage de prise d'eau égale à 50 jours dans le sol saturé. A défaut de données suffisantes permettant la délimitation de la zone IIb suivant les principes définis ci-avant, le périmètre de cette zone est distant du périmètre de la zone IIa de:

- 100 mètres pour les formations aquifères sableuses;
- 500 mètres pour les formations aquifères graveleuses, ou la distance entre le cours d'eau et la limite de la formation aquifère alluviale;
- 1.000 mètres pour les formations aquifères fissurées ou karstiques.

Lorsqu'il existe des axes d'écoulement préférentiel de circulation des eaux souterraines alimentant l'ouvrage de prise d'eau, la zone IIb est étendue le long de ces axes sur une distance maximale de 1000 mètres et sur une largeur au moins égale à celle de la zone IIa.

Une série d'interdictions sont également prévues.

2.1.2. RECOMMANDATION: LES CONTRATS DE RIVIÈRE

La Région Wallonne assure la responsabilité des cours d'eau non navigables en respectant, entretenant, protégeant et même en réhabilitant certains sites dégradés.

Les fonctions et usages attribuées aux cours d'eau peuvent être classées de la façon suivante:

- Fonctions naturelles: biologiques, paysagères, hydraulique (collecteur des eaux naturelles).
- Fonctions "artificielles": sanitaire (évacuation des eaux résiduaires), économique (source d'énergie, extraction de matériaux, prélèvement d'eau à des fins alimentaires ou industrielles), navigation.
- Fonctions récréatives et culturelles (témoins de l'activité humaine: moulins...)

Devant cette sollicitation de plus en plus intense et la sensibilisation croissante de l'opinion publique vis-à-vis de son

The "River Contract" co-ordinates the measures to improve the water courses and its surroundings. Its realisation needs a concerted effort by all interested parties: administrative, industrial, traditional management, farmers, environmentalists, fishermen. From it emerges a consensus on the whole for a compromise versus a regulation. These compromises are formalised in a document acting as a code of good practise approved by each partner. This approach favours consciousness raising and participation of all users.

This agreement protocol contains a complete inventory of all elements to be taken into account in any integrated management framework for the watercourse (local uses, scientific data, water and aquatic environment quality objectives, summary of problems). In other respects, it integrates programmes of action for which an accord has been achieved, as well as the required financial means concerned. It contains further a description of the monitoring Committee to be set up for the Contract implementation, as well as for a programme of public information. The financial means are released by the municipalities concerned.

2.2. AGENCIES

2.2.1. SPECIFIC AGENCIES

In Belgium any "basin agencies" do not exist, like for example, in France. Jurisdiction is spread through a series of organisations and the Walloon Regional Ministries and the Federal Government.

However, following significant floods experienced recently, a commission has been set up (the Ourthe Commission), which gathers together the various municipalities of the Amblève and Ourthe basin (with the exception of the Vesdre basin). It consists of:

- 1) Politicians (local public representatives = mayors) and representatives of the Ministry (Cabinet);
- 2) Members of different ministries: 4 departments of the MET (hydrology studies, waterways, dams and hydraulic research laboratory), and departments dealing with non-navigable

de vida, se desarrolla una nueva forma de gestión de los cursos de agua, integrando los aspectos hidráulicos, ambientales y socioeconómicos.

El "Contrato de río" coordina las medidas a adoptar para obtener una mejora de curso de agua y de sus aledaños. Su realización demanda una amplia concertación de todas las partes directamente interesadas en este objetivo: gestores, industriales, gestores tradicionales, agricultores, ecologistas, pescadores... De ello se deriva un consenso entre las partes por vía de compromisos, en lugar de hacerlo por vía reglamentaria. Estos compromisos se formalizan en un documento que constituye un código de buena conducta aprobado por cada una de las partes. Ello favorece la sensibilización y la participación de los usuarios.

Este acuerdo marco contiene un inventario de todos los elementos a tener en cuenta en el marco de una gestión integrada del curso de agua (usos locales, datos científicos, objetivos de calidad del agua y del medio acuático, puesta de manifiesto de los aspectos perjudiciales). Por otro lado, engloba los programas de acción sobre los que se ha llegado a un acuerdo así como los medios financieros correspondientes. Comprende además una descripción del Comité de seguimiento que ejecuta el Contrato, así como un programa de sensibilización del público. Los medios financieros son liberados por los municipios afectados.

2.2. ORGANISMOS

2.2.1. ORGANISMOS ESPECÍFICOS

En Bélgica no existen los "organismos de cuenca" del mismo modo que existen en Francia, por ejemplo. Las competencias están repartidas entre una serie de pequeños organismos y de Ministerios de la Región Valona y del Gobierno Federal.

No obstante, a raíz de las importantes inundaciones sufridas recientemente, se ha puesto en marcha una comisión (Comisión del Ourthe) que agrupa al conjunto de municipios que se encuentran en la cuenca del Ourthe (excluida la cuenca del Vesdre) y del Amblève. Dicha comisión está compuesta por:

- 1) Políticos (mandatarios públicos locales = alcaldes) y representantes del Ministerio (Gabinete);
- 2) Miembros de diferentes Ministerios: cuatro servicios del MET (el Servicio de estudios hidrológicos, el de las vías navegables, el Servicio de presas y el Centro de investigación hidráulica).

cadre de vie, une nouvelle voie de gestion du cours d'eau se développe, intégrant simultanément les aspects hydrauliques, environnementaux et socio-économiques.

Le "Contrat de Rivière" coordonne les mesures à prendre pour obtenir une amélioration du cours d'eau et de ses abords. Sa réalisation fait appel à une large concertation de toutes les parties directement intéressées par cet objectif: gestionnaires, industriels, gestionnaires traditionnels, agriculteurs, environnementalistes, pêcheurs... Il en émerge un consensus entre parties par voie de compromis par opposition à la voie réglementaire. Ces compromis sont formalisés dans un document faisant office de code de bonne conduite approuvé par chaque partie. Cette approche favorise la sensibilisation et la participation des usagers.

Ce protocole d'accord contient un inventaire complet de tous les éléments à prendre en compte dans le cadre d'une gestion intégrée du cours d'eau (usages locaux, données scientifiques, objectifs de qualité d'eau et du milieu aquatique, relevé des nuisances). Il intègre par ailleurs les programmes d'actions pour lesquels un accord a pu être dégagé ainsi que les moyens financiers qui les concernent. Il comprend en outre une description du Comité de suivi qui exécute le Contrat ainsi qu'un programme de sensibilisation du public. Les moyens financiers sont dégagés par les communes concernées.

2.2. AGENCES

2.2.1. AGENCES SPÉCIFIQUES

En Belgique, les "agences de bassin" telles qu'on en trouve en France par exemple, n'existent pas. Les compétences sont réparties dans une série d'organismes et de Ministères de la Région Wallonne et du Gouvernement Fédéral.

Toutefois, suite aux inondations importantes survenues récemment, une commission a été mise sur pied (Commission de l'Ourthe); elle regroupe l'ensemble des communes qui se trouvent sur le bassin de l'Ourthe (à l'exclusion du bassin de la Vesdre) et de celui de l'Amblève. Elle est composée:

- 1) d'hommes politiques (mandataires publics locaux = bourgmestre) et de représentants du Ministère (Cabinet);
- 2) de membres des différents Ministères: quatre services du MET (à savoir le Service d'études hydrologiques, les voies navigables, le service des barrages et le centre de recherche hydro-

water courses; Water and Forests, Fishing department, Nature conservation, Land-use planning, Provincial technical services.

3) Scientists (of the universities): engineers, biologists, geographers.

2.2.2. RELATIONS BETWEEN RIVER AND LAND USE PLANNING AGENCIES

In the absence of a specific agency for the Ourthe, land development regulations in the basin are those applicable for the entire Walloon region. The setting up of "river contracts" should ideally emerge onto particular measures for the basins and related sub-basins (already exists for the Hoëgne and the Wayai; Amblève and Ourthe in the course of structuration).

2.2.3. RELATIONS BETWEEN RIVER AND NATURE CONSERVATION AGENCIES

In the absence of a specific agency for the Ourthe, nature conservation matters applied in the basin are those applicable for the whole of the Walloon region. The setting up of "river contracts" should ideally emerge onto particular measures for the basins and sub-basins (already exists for the Hoëgne and the Wayai; Amblève and Ourthe in the course of structuration).

2.2.4. RIVERS SHARED BETWEEN SEVERAL AGENCIES

A division of jurisdiction

The water courses in the Walloon region are administratively shared between navigable and non-navigable rivers (Figure 18).

The non-navigable waterways are divided into three categories:

1. The first category: sections of the non-navigable water courses, downstream of the point where the catchment reaches at least 5,000 ha. This first category includes 1,687 km of hydrographical network in Wallonia.

2. The second category: the non-navigable water courses or parts of them which are classed neither in the first nor in the third categories. This second category concerns 5,872 km of the hydrographical network in Wallonia.

lica de Châtelet); de cursos de agua no navegables; de Aguas y Bosques, el Servicio de pesca, de Conservación de la naturaleza, de Ordenación del territorio, el Servicio técnico provincial.

3) Científicos (de las universidades): ingenieros, biólogos, geógrafos.

2.2.2. RELACIÓN ENTRE LOS ORGANISMOS DE RÍO Y LOS DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Ante la ausencia de un organismo específico en el Ourthe, las disposiciones en materia de ordenación del territorio que se aplican en la cuenca son las aplicables en el conjunto de la Región Valona. El desarrollo de "contratos de río" debería conducir idealmente a medidas particulares de aplicación en las cuencas y subcuencas incluidas en los mismos (efectivo ya en el Hoëgne y el Wayai; en vías de estructuración en el Amblève y el Ourthe).

2.2.3. RELACIÓN ENTRE LOS ORGANISMOS DE RÍO Y LOS DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

Ante la ausencia de un organismo específico en el Ourthe, las disposiciones en materia de conservación de la naturaleza que se aplican en la cuenca son las aplicables en el conjunto de la Región Valona. El desarrollo de "contratos de río" debería conducir idealmente a medidas particulares de aplicación en las cuencas y subcuencas incluidas en los mismos (efectivo ya en el Hoëgne y el Wayai; en vías de estructuración en el Amblève y el Ourthe).

2.2.4. RÍOS DEPENDIENTES DE VARIOS ORGANISMOS

Un "reparto" de competencias

Los cursos de agua de la región valona están repartidos administrativamente en dos subdivisiones principales (Figura 18): por una parte, las vías de agua navegables y, por otra parte, las vías de agua no navegables.

Las vías de agua no navegables se encuentran a su vez divididas en tres categorías:

1. Primera categoría: las partes de los cursos de agua no navegables situadas aguas abajo del punto en que la red hidrográfica alcanza por lo menos una superficie de 5.000 ha. En esta primera categoría se incluyen 1.687 km de red hidrográfica en Valonia.

lique de Châtelet), les cours d'eau non navigable; les Eaux et Forêt, le Service de la pêche, la Conservation de la nature, l'Aménagement du territoire, le Service technique provinciale,

3) de scientifiques (des universités): ingénieurs, biologistes, géographes.

2.2.2. RELATIONS AGENCES RIVIÈRE ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

En l'absence d'une agence spécifique à l'Ourthe, les dispositions en matière d'aménagement du territoire appliquées dans le bassin sont celles applicables à l'ensemble de la Région wallonne. La mise en place de 'contrats de rivière' devrait idéalement déboucher sur des mesures particulières aux bassins et sous-concernés (Hoëgne et Wayai effectif, Amblève et Ourthe en cours de structuration).

2.2.3. RELATION AGENCES DE RIVIÈRE ET CONSERVATION DE LA NATURE

En l'absence d'une agence spécifique à l'Ourthe, les dispositions en matière de conservation de la nature appliquées dans le bassin sont celles applicables à l'ensemble de la Région wallonne. La mise en place de 'contrats de rivière' devrait idéalement déboucher sur des mesures particulières aux bassins et sous-concernés (Hoëgne et Wayai effectif; Amblève et Ourthe en cours de structuration).

2.2.4. RIVIÈRES À CHEVAL SUR PLUSIEURS AGENCES

Un "partage" des compétences

Les cours d'eau en région wallonne sont administrativement répartis en deux subdivisions principales (Figure 18): d'une part, les voies d'eau navigables et, d'autre part, les voies d'eau non navigables.

Les voies d'eau non navigables sont réparties en trois catégories,

1. En première catégorie: les parties des cours d'eau non navigables, en aval du point où le réseau hydrographique atteint au moins 5.000 ha. Cette première catégorie recense 1.687 kilomètres de réseau hydrographique en Wallonie.

2. En deuxième catégorie: les cours d'eau non navigables ou partie de ceux-ci qui ne sont classés ni en première ni en

3. The third category: non-navigable water courses or parts of which downstream of their origin as long as they have not reached the border of the municipality in which this origin is located. This third category comprises 5,636 km in Wallonia.

The Walloon Ministry for Equipment and Transport deals with the network of navigable rivers. The Walloon region is responsible for non-navigable waterways. It manages directly those sections classified in the 1st category, which consist of 1,687 km of river. The Provincial Technical Departments manages the 2nd category. Municipal and Provincial Departments are concerned with those sections relevant of the third category. Non classified sections, which extend from the source down to the point where the basin reaches 100 ha, are directly managed by owners and riverside residents.

This preamble is necessary to explain the management context of the Ourthe with courses and reaches in all of the categories already cited.

(a) water courses of different categories with different management structures:

private; municipal; Walloon Region for non-navigable water courses in the 1st category; Walloon Region for navigable and floatable water courses.

(b) Provincial Anglerbody Commissions (Liège, Luxembourg, Namur). Angling is mainly managed at a provincial level with no coordination at basin level.

Ministry of the Natural resources and the Environment of the Walloon region

- Water Department
 - Non-navigable water courses: hydraulic management
 - Purification of sewage water and drinking water distribution
 - Surface water
 - Groundwater
- Department for the prevention of pollution
- Department of environmental control
- Department of Nature and Forests
 - Hunting and fishing
 - Nature conservation

Walloon Ministry of Equipment and Transport (MET)

- Waterways
- Navigation office
- Dam department

2. Segunda categoría: los cursos de agua no navegables o las partes de éstos que no están incluidas ni en la primera ni en la tercera categoría. Esta incluye 5.872 km de red hidrográfica en Valonia.

3. Tercera categoría: los cursos de agua no navegables o las partes de éstos, aguas abajo de su nacimiento, en tanto en cuanto no hayan alcanzado el límite del municipio en el que está situado dicho nacimiento. Esta tercera categoría incluye 5.636 km en Valonia.

El Ministerio Valón de Equipamiento y Transportes tiene a su cargo la red de vías navegables. La región valona es responsable de las vías de agua no navegables. Gestiona directamente los tramos de río clasificados de “primera categoría”, 1.687 km. Los Servicios Técnicos Provinciales se ocupan del seguimiento de los tramos denominados de segunda categoría, mientras que los Servicios Municipales y Provinciales aseguran la gestión de los tramos de tercera categoría. Los tramos no clasificados, que se extienden desde el manantial hasta el punto en que la cuenca vertiente alcanza una superficie de 100 ha, son gestionados directamente por los propietarios y ribereños.

Este preámbulo es necesario para explicar el contexto de la gestión del Ourthe, que reparte su curso en tramos pertenecientes a cada una de las categorías indicadas anteriormente.

(a) cursos de agua de diferentes categorías con diferentes gestores:

privada; municipal; región valona en los cursos de agua no navegables de primera categoría; región valona en los cursos de agua navegables.

(b) Comisiones piscícolas provinciales (Lieja, Luxemburgo, Namur). No existe coordinación entre las actuaciones, lo cual plantea la necesidad de establecer una gestión piscícola por cuencas y no por provincias administrativas.

Ministerio de Recursos naturales y Medio Ambiente de la Región Valona

- División del Agua
 - Cursos de agua no navegables: gestión hidráulica
 - Depuración de las aguas residuales y distribución del agua
 - Aguas superficiales
 - Aguas subterráneas
- División para la prevención de la contaminación
- División para la vigilancia del medio ambiente

troisième catégorie. Cette deuxième catégorie concerne 5.872 kilomètres de réseau hydrographique en Wallonie.

3. En troisième catégorie: les cours d'eau non navigables ou parties de ceux-ci, en aval de leur origine, tant qu'ils n'ont pas atteint la limite de la commune où est située cette origine. Cette troisième catégorie reprend 5.636 kilomètres en Wallonie.

Le ministère wallon de l'Équipement et des Transports s'occupe du réseau des voies navigables. La région wallonne est responsable des voies d'eau non navigables. Elle gère directement les tronçons de ceux-ci classés en “première catégorie”, ce qui représente 1683 kilomètres de rivière. Les Services Techniques Provinciaux assurent la gestion des tronçons dits de deuxième catégorie. Les Services Communaux et Provinciaux assurent le suivi des tronçons relevant de la deuxième catégorie. Les sections non classées, qui s'étendent de la source jusqu'au point où la bassin atteint 100 ha sont gérées directement par les propriétaires et riverains.

Ce préambule est nécessaire pour expliquer le contexte de gestion de l'Ourthe qui partage son cours en tronçons relevant de chacune des catégories citées précédemment.

(a) cours d'eau de différentes catégories avec différents gestionnaires:

privé; commune; région wallonne pour les cours d'eau non navigables de 1ère catégorie; région wallonne pour les cours d'eau navigables et flottables.

(b) Commission piscicoles provinciales (Liège, Luxembourg, Namur). Pas de coordination des actions d'où nécessité d'une gestion piscicole par bassin et pas par province administratives.

Ministère des Ressources naturelles et de l'Environnement de la Région wallonne

- Division de l'Eau
 - Cours d'eau non navigables: gestion hydraulique
 - Epuration des eaux usées et de la distribution de l'eau
 - Eaux de surface
 - Eaux souterraines
- Division de la prévention des pollutions
- Division de la police de l'environnement
- Division de la Nature et des Forêts
 - Chasse et Pêche et Service de la Pêche
 - Conservation de la Nature

- Electromechanics (automatic movable dams; micro-powerplant Grosses-Battes)
- Landscape integration (bank enhancement, fish ladders)

Concerned provincial services (Technical services, etc.)

Inter-municipalities for the purification of sewage water (Liège, Luxembourg, Namur)

Provincial angling committees (Liège, Luxembourg, Namur)

- División Forestal y de la Naturaleza
 - Caza y Pesca y Servicio de Pesca
 - Conservación de la Naturaleza

Ministerio Valón de Equipamiento y Transportes (MET)

- Vías hidráulicas
- Oficina de la navegación
- Servicio de presas
- Electromecánica (presas móviles automáticas; microcentral Grosses-Battes)
- Integración paisajística (acondicionamiento de márgenes, escalas para peces)

Servicios provinciales implicados (Servicios Técnicos, etc.)

Agrupaciones intermunicipales para depuración de aguas residuales (Lieja, Luxemburgo, Namur)

Comisiones provinciales de los fondos piscícolas (Lieja, Luxemburgo, Namur)

Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (MET)

- Voies hydrauliques
- Office de la navigation
- Service des barrages
- Electromécanique (barrages mobiles automatiques; micro-centrale Grosses-Battes)
- Intégration paysagère (aménagement des berges, échelles à poissons)

Services provinciaux concernés (Services techniques, etc.)

Intercommunales d'Épuration des eaux usées (Liège, Luxembourg, Namur)

Commissions provinciales du Fonds piscicole (Liège, Luxembourg, Namur)

2.3. MANAGEMENT MEASURES

2.3.1. IN VIEW OF REDUCING THE SIGNIFICANCE OF FLOODING

In view of applying the law of 1957, ordinary maintenance works (such as dredging, bank protection and cleaning out) and extraordinary works have been carried out (cf. more detailed report in section 3.).

2.3.2. TO RESTORE THE RIVERS

General management measures carried out in the Ourthe basin in order to restore the rivers concerns 3 principal parts: water quality, aquatic habitat quality (fauna and flora) and the fish populations.

Management measures concerning surface water quality are:

- The surveillance of DPE (Environment police) authorised waste disposal at emission points;
- Surveillance of river quality according to defined objectives. This surveillance is carried out through a network of sampling points where regular physico-chemistry, biological (bio-

2.3. MEDIDAS DE GESTIÓN

2.3.1. PARA REDUCIR LA IMPORTANCIA DE LAS INUNDACIONES

En cumplimiento de la ley de 1957, se han llevado a cabo actuaciones ordinarias de mantenimiento (limpieza, dragado y protección de márgenes) y algunas obras de carácter extraordinario (ver más detalles en el apartado 3).

2.3.2. PARA LA RESTAURACIÓN DE RÍOS

Las medidas generales de gestión adoptadas en la cuenca del Ourthe para la restauración de ríos se refieren a tres aspectos principales: la calidad del agua, la calidad de los hábitats acuáticos para la fauna y la flora y las especies y poblaciones vivientes propiamente dichas.

Las medidas de gestión de la calidad de las aguas superficiales se refieren a:

- La vigilancia, en los puntos de emisión, de los vertidos autorizados por la DPE (Policía del Medio Ambiente);
- La vigilancia de la calidad de los ríos en función de los objetivos considerados. Esta vigilancia se lleva a cabo mediante

2.3. MESURES DE GESTION

2.3.1. EN VUE DE RÉDUIRE L'IMPORTANCE DES INONDATIONS

En vue de réaliser la loi de 1957, des entretiens ordinaires (tels que curage, dragage et protection de berges) et certains travaux extraordinaires sont effectués (cf. action plus détaillée au point 3.).

2.3.2. POUR RESTAURER LES RIVIÈRES

Les mesures générales de gestion prises dans le bassin de l'Ourthe pour restaurer les rivières concernent 3 volets principaux: la qualité de l'eau, la qualité des habitats aquatiques pour la faune et la flore et les espèces et populations vivantes elles-mêmes.

Les mesures de gestion de la qualité de eaux de surface concernent:

- La surveillance des rejets autorisés aux points d'émission par la DPE (Police de l'Environnement);
- La surveillance de la qualité des rivières en fonction des objectifs définis. Cette surveillance s'opère dans un réseau de points de mesure où l'on procède régulièrement à des analy-

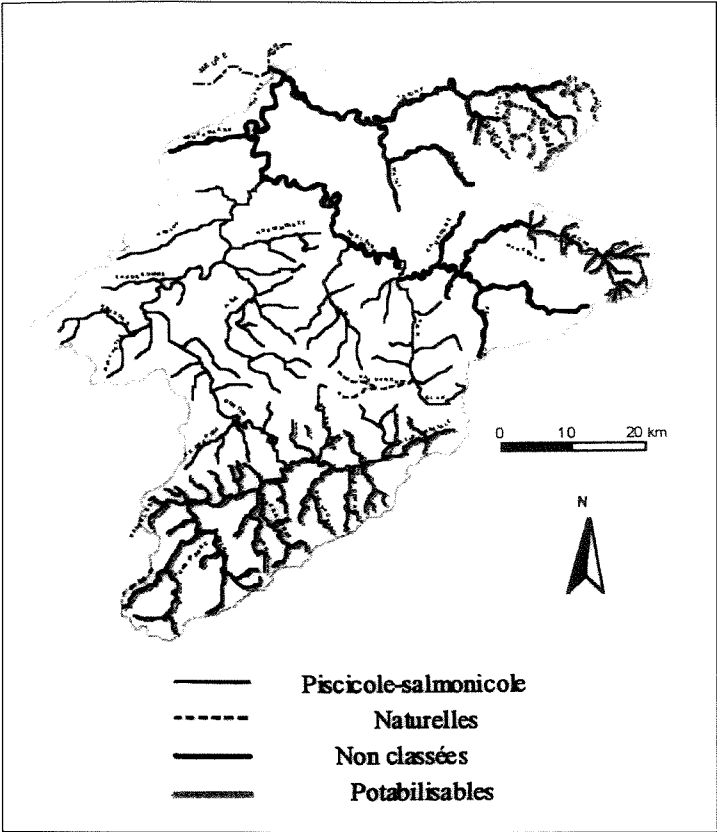


Figure 17. Water classification, by their quality
Figura 17. Clasificación de las aguas en función de su calidad
Figure 17. Classification des eaux en fonction de leur qualité

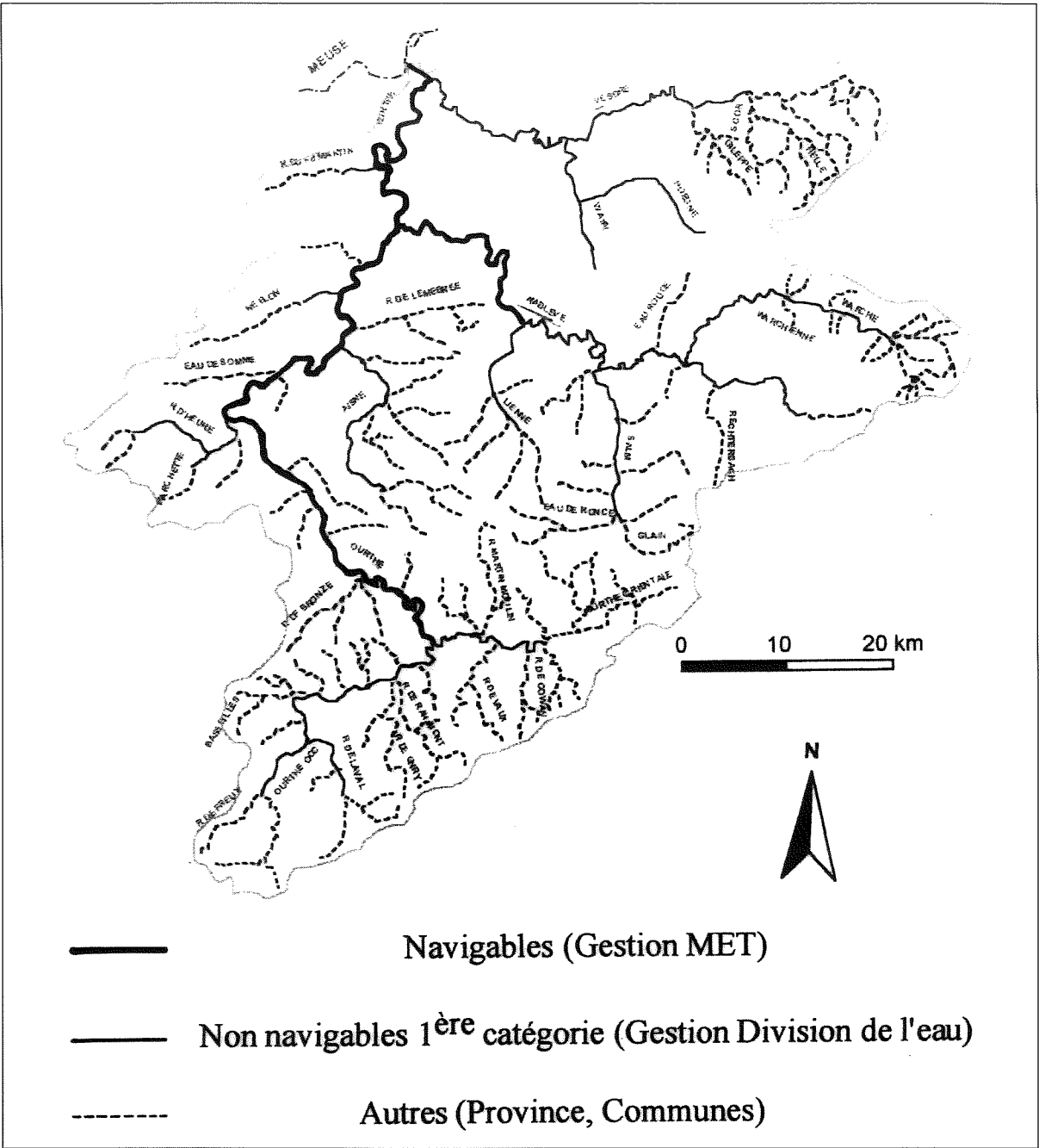


Figure 18. Hierarchisation of water courses according to level of jurisdiction
Figura 18. Jerarquización de los cursos de agua en función de su jurisdicción
Figure 18. Hiérarchisation des cours d'eau en fonction du niveau de compétence

tic indices), and bacteriological analyses are carried out. The results of the analyses are published in annual reports or synthesised reports or maps.

- Working out of technical action programmes of cleaning and purification in accordance with quality objectives.
- Taxing industrial and domestic waste pollution according to the principle "the polluter pays".
- Encouraging the development of cleaner industrial production systems (recycling, clean technologies) and less pollutant agricultural techniques.
- Developing management models, notably the PEGASE model.

As far as the restoration of aquatic habitats for flora and fauna is concerned, the administration of navigable and non-navigable water courses are more and more led to integrate, but actually outside of legal frameworks, the principles of conserving nature in their hydraulic development actions. This implies the execution of works less destructive than beforehand as well as specific ecological operations such as the building or rehabilitation of migratory fishways on the dams, the local reconstruction of habitats for aquatic fauna, the performing of moderate dredging of gravel deposits, and using natural methods to stabilise banks (vegetalisation of banks).

Concerning the question of managing animal populations, and especially fish exploited by angling, the most significant measures are:

- the permanent adaptation of fishing regulations in order to take into account changing situations revealed by studies of fish populations using electric fishing or other techniques;
- monitoring in respect of the legal protection of aquatic species which have become rare or strongly exploited by fishing;
- the organisation of regular fishstocking by anglers associations and the production of young fish assumed to belong to the Ourthe basin stock;
- since 1987, the execution and scientific following up of a rehabilitation programme concerning Atlantic salmon in the Meuse-Ourthe-tributaries axis (Meuse Saumon 2000) (Philippart *et al.*, 1994);
- the development of a regional programme for re-establishing free movement for fish (fish ladders), to respond to the Benelux directive, April 1996, related to free circulation of migratory fish;
- the execution of ecological and hydrobiological research programmes as a basis for better management of aquatic living resources.

una red de puntos de medida en los que se efectúan regularmente análisis físico-químicos, biológicos (índices bióticos) y bacteriológicos. Los resultados de estos análisis se publican en informes anuales o en informes o mapas de síntesis.

- La puesta en marcha de programas y actuaciones técnicas de saneamiento y depuración en función de los objetivos de calidad.
- El gravamen de los vertidos contaminantes industriales, según el principio de "el que contamina, paga".
- El impulso al desarrollo de sistemas de producción industrial más limpios (reciclado, tecnologías limpias) y al empleo de técnicas agrícolas menos contaminantes.
- El desarrollo de modelos de gestión, fundamentalmente el modelo PEGASE.

En lo que se refiere a la restauración de los hábitats acuáticos utilizados por la fauna y la flora, los gestores de los cursos de agua navegables y no navegables cada vez se encuentran más empujados a integrar, si bien actualmente fuera de cualquier marco legal, principios de "conservación de la naturaleza" en sus actuaciones de ordenación hidráulica. Ello implica la ejecución de obras menos duras que antes, así como la realización de intervenciones específicas con pretensiones ecológicas, como la construcción ex novo o la rehabilitación de pasos para peces migratorios en las presas, la reconstrucción local de hábitats para la fauna acuática, la organización de dragados moderados de las graveras, la utilización de técnicas naturales de estabilización de márgenes (vegetalización).

En materia de gestión de las poblaciones animales y especialmente de las poblaciones de peces explotados por la pesca recreativa, las medidas más significativas se refieren a:

- la adaptación permanente de la reglamentación de pesca, con el fin de tener en cuenta las situaciones cambiantes detectadas fundamentalmente en los controles realizados mediante pesca eléctrica o cualquier otra técnica;
- la vigilancia del respeto de la protección legal de las especies acuáticas raras o fuertemente explotadas por la pesca;
- la organización de repoblaciones regulares de peces llevadas a cabo por las asociaciones de pescadores y de productores locales de pescado con denominación de origen "cuenca del Ourthe";
- la ejecución y seguimiento, desde 1987, de un programa de rehabilitación del salmón atlántico en el eje Mosa-Ourthe-afluentes (Meuse Saumon 2000) (Philippart *et al.*, 1994);
- el desarrollo de un programa regional de restablecimiento de la libre circulación de peces (problema de escalas de peces)

ses physico-chimiques, biologiques (Indices biotiques) et bactériologiques. Les résultats des analyses sont publiés dans des rapports annuels ou dans des rapports ou des cartes de synthèse.

- La mise en place des programmes et actions techniques d'assainissement et d'épuration en fonction des objectifs de qualité.
- La taxation des rejets polluants industriels et domestiques selon le principe du pollueur-payeur.
- L'incitation à développer des systèmes de production industrielle plus propres (recyclage, technologies propres) et à employer des techniques agricoles moins polluantes.
- Le développement de modèles de gestion, notamment le modèle PEGASE.

Pour ce qui concerne la restauration des habitats aquatiques utilisés par la faune et la flore, les gestionnaires des cours d'eau navigables et non navigables sont de plus en plus amenés à intégrer, mais actuellement en dehors de tout cadre légal, des principes de 'conservation de la nature' dans leurs actions d'aménagement hydraulique. Cela implique l'exécution de travaux moins durs qu'auparavant ainsi que la réalisation d'interventions spécifiques à vocation écologique comme l'aménagement de novo ou la réhabilitation de passes migratoires à poissons sur les barrages, la reconstruction locale d'habitats pour la faune aquatique, l'organisation de dragages modérés des dépôts de gravier, l'utilisation de techniques naturelles de stabilisation des berges (végétalisation des berges).

En matière de gestion des populations animales et spécialement des populations de poissons exploitées par la pêche récréative, les mesures les plus significatives concernent:

- l'adaptation permanente de la réglementation de la pêche afin de tenir compte de situations changeantes révélées notamment par des contrôles par pêche électrique ou par une autre technique;
- la surveillance du respect de la protection légale des espèces aquatiques devenues rares ou fortement exploitées par la pêche;
- l'organisation de repeuplements réguliers en poissons par les associations de pêcheurs et de productions locales de poissons de souche présumée 'bassin de l'Ourthe';
- depuis 1987, l'exécution et le suivi scientifique d'un programme de réhabilitation du saumon atlantique dans l'axe Meuse-Ourthe-afluentes (Meuse Saumon 2000) (Philippart *et al.*, 1994);
- le développement d'un programme régional de rétablissement de la libre circulation des poissons (problème des éch-

2.3.3. LAND ACQUISITION

The Walloon Region, or private associations with the support of the Walloon Region, by buying wet zones or edges of water courses with a view to establishing natural reserves. But, up to now in the Ourthe basin, no land acquisition has been performed in order to let them be naturally flooded.

2.3.4. AUTHORISED DEVELOPMENTS IN THE RIVER FLOODING AREAS

Following the great floods in December 1993 and January 1995 the Regional Development Administration has proposed measures to limit the construction of houses in the zones liable to flooding risks.

2.4. PLANNING

All the planning elements related to the problem of water in general are defined in the Sustainable Environmental Development Plan approved by an Act of the Walloon government on 9th March 1995. This plan is to be applied during the period 1995-2000.

2.4.1. FLOOD CONTROL

There does not exist general planning for the flood control in the Ourthe basin. However given the rising number of significant floods since 1980, there has been an acceleration of attempts to built certain projects (cf. section 3.2.4).

para dar respuesta a la directiva Benelux, de abril de 1996, relativa a la libre circulación de peces migratorios.

- la ejecución de programas de investigación ecológica e hidrobiológica como base para una mejor gestión de los recursos vivos acuáticos.

2.3.3. COMPRA DE TERRENOS

La Región Valona, así como algunas asociaciones privadas con el apoyo de la Región Valona, llevan a cabo una política de compra de zonas húmedas o de bordes de cursos de agua con objeto de constituir una reserva natural. Sin embargo, en la cuenca del Ourthe, no se ha llevado a cabo, hasta el momento, ninguna compra de terrenos para que puedan estar sujetos a inundación natural.

2.3.4. DESARROLLOS AUTORIZADOS EN LAS ZONAS FLUVIALES INUNDABLES

A consecuencia de las grandes avenidas de diciembre de 1993 y de enero de 1995, la Administración de la Ordenación del Territorio ha propuesto medidas para limitar la construcción de edificios habitables en zonas con riesgo de inundación.

2.4. PLANIFICACIÓN

Todos los elementos de planificación relativos al problema del agua en general están definidos en el Plan para el Desarrollo sostenible aprobado mediante acuerdo del 9 de marzo de 1995 por el Gobierno Valón. Este plan es de aplicación durante el período 1995-2000.

2.4.1. LUCHA CONTRA LAS INUNDACIONES

No existe planificación general para la lucha contra las inundaciones en la cuenca del Ourthe. Sin embargo, dado el elevado número de inundaciones importantes registradas desde 1980, ha habido una aceleración en la realización de ciertos proyectos (ver apartado 3.2.4).

lles à poissons) pour répondre à la directive Bénélux d'avril 1996 relative à la libre circulation des poissons migrateurs;

- l'exécution de programmes de recherche écologique et hydrobiologique comme bases à une meilleure gestion des ressources vivantes aquatiques.

2.3.3. ACQUISITION DE TERRAINS

La Région wallonne ou des associations privées avec l'appui de la Région wallonne appliquent une politique d'acquisition des zones humides ou des bords de cours d'eau en vue d'une mise en réserve naturelle. Mais à ce jour, on n'a pas encore pratiqué dans le bassin de l'Ourthe l'acquisition de terrains pour les rendre à l'inondation naturelle.

2.3.4. DÉVELOPPEMENTS AUTORISÉS DANS LES ZONES INONDABLES DE RIVIÈRE

Suite aux grandes crues de décembre 1993 et janvier 1995, l'Administration de l'Aménagement du Territoire a proposé des mesures pour limiter la construction de maisons d'habitation dans des zones soumises à un risque d'inondation.

2.4. PLANNING

Tous les éléments de planification relatifs au problème de l'eau en général sont définis dans le Plan d'Environnement pour le Développement durable approuvé par arrêté du 9 mars 1995 par le Gouvernement wallon. Ce plan est d'application pour la période 1995-2000.

2.4.1. LUTTE CONTRE LES INONDATIONS

Il n'existe pas de planning général pour la lutte contre les inondations dans le bassin de l'Ourthe. Toutefois, étant donné le nombre élevé d'inondations importantes enregistré depuis 1980, il y a eu une accélération dans la réalisation de certains projets (cf. point 3.2.4.).

2.4.2. PURIFICATION OF SEWAGE WATER

The purification of sewage water in the Ourthe basin is planned in the Action Programme adopted by the Walloon Region in response to the obligations arising from EEC Directive 92/271, of 21st May 1991, related to the treatment of domestic waste water. The Action Plan anticipates the following calendar: by the end of 2000 the purification of conglomerations of > 15,000 EH and by the end of 2005 the purification of municipalities of between 2,000 and 15,000 EH. In order to adhere to this calendar, the MRW has imposed (AERW of 19th October 1991) the municipalities the pre-realisation of a communal sewage plan. This plan conditions the participation of the Region in financing infrastructures for collecting and treating sewage water. Individual purification in non-sewerable zones must be in place for 2010.

2.4.3. RESTORATION OF FREE FISH MIGRATION ROUTES

According to the Benelux directive, of april 1996, relating to the restoration of free fish migration routes, the Walloon Region has to open by 2002 the migratory Meuse-Ourthe route. This involves the priority development of a new fish way at the Angleur dam on the lower Ourthe. Arrangements are presently being made to equip without delay several other small dams in the Ourthe basin, and specially in the Aisne.

2.5. PUBLIC PARTICIPATION

In relation to the problem of flood control, in the Ourthe basin, the MET Ministry has set up in 1994 a consultative commission bringing together special regional administrative departments, the mayors of the municipalities concerned, scientists and various associations (fishing, nature conservation).

All the programmes relating to water, rivers, aquatic biodiversity, water sports and fishing highlighted in the Sustainable Environmental Development Plan of the Walloon Region have been submitted to examination by a large public through seminars and various specific groups in different consultative commissions (fishing, nature conservation, surface water, environment).

2.4.2. DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

La depuración de las aguas residuales en la cuenca del Ourthe se incluye en el programa de actuación adoptado por la Región Valona para hacer frente a las obligaciones de la Directiva 92/271 de la CEE, del 21 de mayo de 1991, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas. El plan de actuación prevé el siguiente calendario: para finales del 2000, depuración de las poblaciones de > 15.000 HE, y para finales del 2005, depuración de las poblaciones comprendidas entre 2.000 y 15.000 HE. Con objeto de poder respetar este calendario, el MRW ha impuesto a los municipios (AERW de 19 de octubre de 1991) la realización previa de un Plan municipal de alcantarillado, que condicionará la participación de la Región en la financiación de las infraestructuras de recogida y tratamiento de las aguas residuales. La depuración individual en las zonas no conectables a la red de alcantarillado deberá estar realizada para 2010.

2.4.3. RESTABLECIMIENTO DE LA LIBRE CIRCULACIÓN DE PECES

En el marco de la directiva Benelux, de abril de 1996, relativa al restablecimiento de la libre circulación de peces, la Región Valona se ha empeñado en abrir, para el año 2002, el eje migratorio Mosa-Ourthe, lo cual implica el acondicionamiento prioritario de un nuevo paso en la presa de Angleur, en el bajo Ourthe. Asimismo, se han tomado medidas para instalar, en el plazo más breve posible, los equipamientos necesarios en otras presas pequeñas de la cuenca del Ourthe y especialmente en el Aisne.

2.5. PARTICIPACIÓN PÚBLICA

En relación con el problema planteado por las inundaciones en la cuenca del Ourthe, el Ministro del MET ha creado en 1994 una Comisión consultiva, que agrupa a representantes de los servicios especializados de la administración regional y del ámbito científico, a los alcaldes de los municipios afectados y a diversas asociaciones (pescadores, conservación de la naturaleza).

Todos los programas relativos al agua, a los ríos, a la biodiversidad acuática, al esparcimiento acuático y a la pesca, reflejados en el Proyecto de Plan Medioambiental para el Desarrollo sostenible de la Región Valona, han sido sometidos, por una parte, al examen de un público amplio, a través de Coloquios, y, por otra, al examen de grupos reducidos, en diferentes comisiones consultivas (Pesca, Conservación de la Naturaleza, Aguas superficiales, Medio Ambiente).

2.4.2. EPURATION DES EAUX USÉES

L'épuration des eaux usées dans le bassin de l'Ourthe s'inscrit dans le programme d'action adopté par la Région wallonne pour répondre aux obligations de la Directive 92/271 CEE du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Le plan d'action prévoit le calendrier suivant: pour fin 2000, épuration des agglomérations de > 15.000 EH et pour fin 2005, épuration des agglomérations de 2.000 à 15.000 EH. Afin de pouvoir respecter ce calendrier, le MRW a imposé (AERW du 19 octobre 1991) aux communes la réalisation avant d'un Plan communal d'égouttage qui doit conditionner la participation de la Région au financement des infrastructures de collecte et de traitement des eaux usées. L'épuration individuelle dans les zones non égouttables devrait être mise en place pour 2010.

2.4.3. RÉTABLISSEMENT DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS

Dans le cadre de la directive Bénélux d'avril 1996 relative au rétablissement de la libre circulation des poissons dans le domaine concerné, la Région wallonne s'est engagée à ouvrir pour 2002 l'axe migratoire Meuse-Ourthe, ce qui implique l'aménagement prioritaire d'une nouvelle passe migratoire au barrage d'Angleur sur la basse Ourthe. Des dispositions sont aussi prises pour équiper dans les meilleurs délais divers autres petits barrages dans le bassin de l'Ourthe et spécialement dans l'Aisne.

2.5. PARTICIPATION DU PUBLIC

En rapport avec le problème de la lutte contre les inondations dans le bassin de l'Ourthe, le Ministre du MET a institué en 1994 une Commission consultative regroupant des représentants des services spécialisés de l'administration régionale, les bourgmestres des communes concernées, des milieux scientifiques et de diverses associations (pêcheurs, conservation de la nature).

Tous les programmes relatifs à l'eau, aux rivières, à la biodiversité aquatique, aux loisirs aquatiques et à la pêche évoqués dans Le Projet de Plan d'Environnement pour le Développement durable de la Région wallonne ont été soumis à l'examen d'un large public lors de Colloques et de groupes particuliers dans différentes commissions consultatives (Pêche, Conservation de la Nature, Eaux de surface, Environnement, Commissions piscicoles).

3. MODES OF ACTION ON THE RIVER

3.1. OBJECTIVES

The objectives are presented according to the actual priority given by public bodies and which is concretely revealed in terms of their financial budget, although in this last aspect, no precise quantification has been possible.

3.1.1. FLOOD CONTROL

The main goal of any operation is protection against flooding, mainly in the lower Ourthe where the floodplain is relatively narrow, (in relation to the lithology of the valley slopes (Condroz)) and where the population density is relatively high (proximity to the Liège conglomeration). In the upper Ourthe flood problems are more localised and urban communities are less concentrated. There are less problems in Famenne, where the floodplain is a lot larger and where numerous terrace levels exist.

3.1.2. IMPROVEMENT OF WATER QUALITY

The improvement of water quality is a major objective in all of the Ourthe basin. It arises out of a double necessity: on one hand there is a functional necessity to maintain and to re-establish a water quality compatible with worthy activities, such as the production of drinking water, nautical activities, fishing and the preservation of the aquatic biodiversity and, on the other hand, a legal necessity to meet the EEC directive 91/271 of 21st May 1991, related to residuary domestic waste water treatment.

3.1.3. STRAIGHTENING AND PROTECTION OF BANKS

The stabilisation of banks and the control of the wandering of the channel due to lateral erosion are less stringent.

3. ACTUACIONES EN EL RÍO

3.1. OBJETIVOS

El orden de presentación de los objetivos coincide con el de la prioridad concedida actualmente a los mismos por parte de los poderes públicos y que se traduce más concretamente en los medios financieros movilizados, aunque, en este sentido y por razones bastante evidentes, no se pueda establecer una cuantificación precisa.

3.1.1. CONTROL DE LAS INUNDACIONES

El objetivo principal de las intervenciones es el de conseguir una protección frente a las inundaciones, al menos en el tramo inferior del Ourthe, en donde la llanura aluvial es relativamente estrecha, de acuerdo con la litología de las vertientes (Condroz), y en donde la densidad de población es relativamente alta (proximidades de Lieja). En el tramo superior, también existen problemas de inundaciones, si bien se presentan de manera más localizada y, en todo caso, hay menos aglomeraciones urbanas. En Famenne, en donde la llanura aluvial es mucho más ancha y se desarrollan numerosos complejos de terrazas, se plantean menos problemas.

3.1.2. MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA

La lucha contra la contaminación de las aguas es un objetivo importante y prioritario en toda la cuenca del Ourthe. Responde a una doble necesidad: por una parte, una necesidad funcional de mantener y restablecer una calidad del agua compatible con funciones nobles, como son la producción de agua potable, las actividades náuticas, la pesca y la preservación de la diversidad acuática y, por otra parte, una necesidad legal emanada de la Directiva 91/271 de la CEE, del 21 de mayo de 1991, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

3.1.3. RECTIFICACIÓN Y PROTECCIÓN DE MÁRGENES

Aunque en menor medida, se plantean igualmente problemas de estabilización de márgenes y de control de la diva-

3. MODE D'ACTION SUR LA RIVIÈRE

3.1. OBJECTIFS

Les objectifs sont présentés en fonction de la priorité accordée actuellement par les pouvoirs publics et qui se traduit concrètement par les moyens financiers mis en œuvre, bien qu'à cet égard et pour des raisons assez évidentes, on ne puisse établir une quantification précise.

3.1.1. CONTRÔLE DES INONDATIONS

Le but principal des interventions est une protection contre les inondations du moins dans la partie de l'Ourthe inférieure parce que la plaine alluviale est relativement étroite en relation avec la lithologie des versants (Condroz) alors que la densité de population y est relativement élevée (proximité de l'agglomération liégeoise). Dans la partie supérieure, les problèmes d'inondations existent également mais ils sont plus localisés et de toute manière, les communautés urbaines y sont moins représentées. En Famenne, là où la plaine alluviale est beaucoup plus large et où se développent de nombreux complexes de terrasses, il se pose moins de problèmes.

3.1.2. AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

La lutte contre la pollution des eaux est un objectif majeur et prioritaire dans tout le bassin de l'Ourthe. Elle répond à une double nécessité: d'une part, une nécessité fonctionnelle qui est de maintenir et de rétablir une qualité d'eau compatible avec des fonctions nobles comme la production d'eau potable, les activités nautiques, la pêche et la préservation de la biodiversité aquatique et, d'autre part, une nécessité légale correspondant au respect de la Directive CEE 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.

3.1.3. RECTIFICATION ET PROTECTION DES BERGES

Dans une moindre mesure, il se pose également des problèmes de stabilisation des berges et de contrôle de la diva-

Indeed the lateral erosion is relatively inactive and solutions are carried out locally, when for example roads and settlements are imperilled.

3.1.4. IMPROVEMENT OF AQUATIC AND RIPARIAN HABITATS

During the 1950s and 1960s the Ourthe and many tributaries and sub-tributaries were subjected to many hydraulic maintenance works, extremely prejudicial to the aquatic environment and its fauna, particularly fish (for the eastern Ourthe, cf. Huet and Timmermans, 1976). Following the strong reactions from naturalist and anglers and thanks to changes in public opinion at the beginning of the 1970s (1970 - European Year for the Conservation of Nature), hard hydraulic works became less frequent and more attuned to local problems. The priority objective in the future in this matter should be to disturb as little as possible aquatic habitats, and, when necessary, to use alternative and softer techniques. A next step should be to perform restoration activities through techniques whose inventory for the Walloon Region has been carried out by Philippart *et al.* (1989). But there does not actually exist any legal framework, as for example the french Fishing Law and Biotope Agreements which impose those forms of ecological operation on water courses. In effect, the Belgian law on water courses only takes into account the purely hydraulic aspect of the problem: promoting the flow to protect housing and agricultural fields against flooding. Technological operations with an ecological character always result from own initiatives by the Administration. But these often hesitate to innovate for fear of criticism (and through the courts) from riverside residents damaged by floods and who consider that preventative works expected by law have not been carried out.

3.1.5. RESTORATION

The priority objective concerning restoration in the Ourthe basin is the re-establishment of fish migration, through the deployment of the Benelux Directive of April 1996 and in accordance with the recommendations of the sustained Environmental Development Plan of the Walloon Region.

gación del lecho menor debido a la erosión lateral. Si embargo, este problema es secundario, en la medida en que la erosión lateral es poco activa y se adoptan soluciones de carácter local, cuando se ponen en peligro carreteras o zonas habitadas.

3.1.4. MEJORA DE LOS HÁBITATS ACUÁTICOS Y RIPARIOS

Durante los años 1950 y 1960 se llevaron a cabo, en el Ourthe y en muchos de sus afluentes y subafluentes, trabajos de mantenimiento muy perjudiciales para el medio acuático y su fauna, principalmente piscícola (para el Ourthe oriental, ver Huet y Timmermans, 1976). A consecuencia de las fuertes reacciones de pescadores y naturalistas y a raíz de los cambios de mentalidad experimentados a comienzos de los años 1970 (1970, Año europeo de Conservación de la Naturaleza), las intervenciones se convirtieron en menos sistemáticas y más enfocadas a problemas locales. En el futuro, el objetivo prioritario debería ser el de intervenir lo menos posible en los hábitats acuáticos y, en caso de intervenir (cuando sea necesario), hacerlo con métodos más blandos y, eventualmente, llevar a cabo actuaciones de restauración mediante técnicas cuyo inventario para la Región Valona ha sido realizado por Philippart *et al.* (1989). En la actualidad, no existe ningún marco legal, al revés de lo que ocurre en Francia, en donde la Ley de Pesca y los Acuerdos de Biotopo imponen la realización de dichas intervenciones ecológicas en los cursos de agua. En efecto, la Ley sobre los cursos de agua no navegables no tiene en cuenta más que el aspecto puramente hidráulico del problema: facilitar el flujo para proteger las viviendas y las tierras agrícolas frente a las inundaciones. Las intervenciones técnicas de carácter ecológico son el resultado de iniciativas propias de los organismos gestores. Estos organismos dudan a menudo a la hora de realizar innovaciones, por miedo a sufrir las críticas (y las demandas judiciales) de los ribereños afectados por una inundación, al considerar que los trabajos preventivos previstos por la ley no han sido ejecutados.

3.1.5. RESTAURACIÓN

El objetivo prioritario de la restauración de los cursos de agua de la cuenca del Ourthe es el restablecimiento de la libre circulación de peces, según la Directiva Benelux de abril de 1996 y conforme a las recomendaciones del Plan de Medio Ambiente para el Desarrollo sostenible en la Región Valona.

gation du lit mineur dû à l'érosion latérale. Ce problème est cependant secondaire dans la mesure où l'érosion latérale est relativement peu active, et des solutions sont alors apportées localement, lorsque par exemple des routes ou des habitations se trouvent en péril.

3.1.4. AMÉLIORATION DES HABITATS AQUATIQUE ET RIPARIENS

Au cours des années 1950 et 1960 furent réalisés dans l'Ourthe et dans de nombreux affluents et sous-affluents des travaux d'entretien hydrauliques fort préjudiciables au milieu aquatique et à sa faune, notamment ichthyenne (pour l'Ourthe orientale, cf. Huet et Timmermans, 1976). A la suite de vives réactions dans les milieux des pêcheurs et des naturalistes et à la faveur des changements de mentalité survenus au début des années 1970 (1970, Année européenne pour la Conservation de la Nature), les interventions devinrent beaucoup moins systématiques et plus ciblées sur des problèmes locaux. L'objectif prioritaire pour le futur en cette matière devrait être d'intervenir le moins possible sur les habitats aquatiques, d'intervenir, quand cela est nécessaire, avec des méthodes plus douces et alternatives et, éventuellement, d'entreprendre des actions de restauration au moyen de techniques dont l'inventaire pour la Région wallonne a été fait par Philippart *et al.* (1989). Mais il n'existe actuellement aucun cadre légal, comme par exemple la Loi Pêche et les Arrêtés de Biotope en France, qui impose de telles interventions écologiques sur les cours d'eau. En effet, la Loi sur les cours d'eau non navigables ne prend en compte que l'aspect purement hydraulique du problème: faciliter l'écoulement pour protéger contre les inondations les habitations et les terres agricoles. Les interventions techniques à caractère écologique résultent toujours d'initiatives propres de la part des organismes gestionnaires. Mais ceux-ci hésitent souvent à innover par crainte de subir les critiques (et les attaques en justice), de riverains touchés par les effets d'une inondation et estimant que des travaux préventifs prévus par la loi n'ont pas été exécutés.

3.1.5. RESTAURATION

L'objectif prioritaire de restauration des cours d'eau du bassin de l'Ourthe est le rétablissement de la libre circulation des poissons, en exécution de la Directive Bénélux d'avril 1996 et conformément aux recommandations du Plan d'Environnement pour le Développement durable en Région wallonne.

Apart from this aspect, most water courses in the Ourthe basin have not been submitted, as sometimes occurs in other countries, to drastic channelisation which makes it necessary to undertake large scale restorative actions in order to reconstruct meanders and riffles pools sequences. Nevertheless restoration of aquatic habitats must be envisaged locally.

3.1.6. PRESERVATION OF HISTORIC SITES

The interest in conserving historical elements and industrial archaeology has emerged in Wallonie over the last years. For the Ourthe basin attention has focused on the conservation and restoration of the vestiges of the Ourthe canal, in operation until the 1950s and on old mills. But other preservation projects exist for other sites.

3.2. TECHNIQUES USED

3.2.1. DESCRIPTION

► Flood control

This action is carried out on two different levels: flow control carried out on the whole of the hydrographical basin and operations on the channel.

This control includes water retention in impoundments even though the dams did not initially have this function of flood control; but over time their management has evolved towards retention in existing dams. In other respects, there are several projects for building flood control dams.

This control is also done through the local construction of anti-flood walls and by pumping installations (example at Durbuy).

The improvement of the flow in the channel is done notably by the cutting of old weirs or their replacement by movable dams, by regular dredging and by bed cross-sections reprofiling and, rarely by the straightening of the course.

As far as control of the flow is concerned, a compensation discharge is anticipated downstream of different dams

Dejando de lado este aspecto, la mayoría de los cursos de agua de la cuenca del Ourthe no han sufrido, a diferencia de lo ocurrido a veces en otros países, encauzamientos drásticos que hacen necesaria la realización de actuaciones de restauración de gran envergadura, que pueden consistir en el restablecimiento de meandros y la reconstrucción de una alternancia de rápidos y pozas. Con todo, se debe prever la realización de restauraciones locales de hábitats acuáticos.

3.1.6. PROTECCIÓN DE LUGARES HISTÓRICOS

En Valonia, a lo largo de los últimos años, se ha manifestado un cierto interés en la conservación de elementos históricos y de arqueología industrial. En la cuenca del Ourthe, se ha centrado la atención en la conservación y restauración de los restos del Canal del Ourthe, que ha estado en funcionamiento hasta mediados de los años cincuenta, así como de antiguos molinos. No obstante, existen proyectos de protección y revalorización de otros lugares.

3.2. TÉCNICAS UTILIZADAS

3.2.1. DESCRIPCIÓN

► Control de avenidas

Esta actuación se realiza a dos niveles diferentes: controlando, por una parte, el flujo procedente del conjunto de la cuenca, o mediante intervenciones en el lecho menor, por otra.

Este control se realiza mediante una retención en los embalses existentes, aunque éstos no tuviesen inicialmente como finalidad el control de las avenidas, si bien, con el transcurso del tiempo su gestión se ha orientado hacia la retención en presas existentes. Por otro lado, han visto la luz varios proyectos de embalses laminadores de avenidas.

Este control se realiza también mediante muros, acompañados de bombeos (p.e. en Durbuy).

La mejora del flujo en el lecho menor se realiza fundamentalmente descrestando las antiguas presas vertedero o sustituyéndolas por presas móviles, mediante dragados regulares, mediante obras de reperfilado del lecho y antaño mediante rectificación del curso.

Mis à part cet aspect, la majorité des cours d'eau du bassin de l'Ourthe n'ont pas subi, comme parfois dans d'autres pays, des chenalisations drastiques qui rendent nécessaires des actions de restauration de grande envergure portant sur le rétablissement des méandres et la reconstruction d'une alternance de radiers-rapides et de profonds. Mais des restaurations d'habitat aquatiques doivent être envisagées localement.

3.1.6. PRÉSERVATION DES LIEUX HISTORIQUES

L'intérêt de conserver des éléments historiques et d'archéologie industrielle s'est manifesté au cours des dernières années en Wallonie. Pour le bassin de l'Ourthe, l'attention s'est portée sur la conservation et la restauration de vestiges du Canal de l'Ourthe fonctionnel jusqu'au milieu des années cinquante et d'anciens moulins. Mais il existe des projets de préservation et de mise en valeur d'autres sites.

3.2. TECHNIQUES UTILISÉES

3.2.1. DESCRIPTION

► Contrôle des crues

Cette action se fait à deux niveaux différents: par contrôle de l'écoulement portant sur l'ensemble du bassin hydrographique d'une part, par des interventions en lit mineur d'autre part.

Le contrôle fait intervenir une rétention dans des retenues existantes bien que ces barrages n'aient pas initialement une vocation de contrôle des crues; mais au fil du temps leur gestion s'est orientée vers une rétention dans barrages existants. Par ailleurs plusieurs projets de barrages écrêteurs ont vu le jour.

Le contrôle se fait également par l'édification locale de murs anticrues, accompagnée d'une politique de démergement (exemple à Durbuy).

L'amélioration de l'écoulement en lit mineur porte notamment sur l'ététement d'anciens barrages déversoirs ou leur remplacement par des barrages mobiles, par des dragages réguliers et par des travaux de reprofilage du lit et jadis de rectification du cours.

(Nisramont and Eupen). On the other hand there is no particular 'flushing' policy because the silting of reservoirs is not as severe as in certain alpine reservoirs, for example.

■ Control of bank erosion

The GIREA (1988) has drawn up a general survey of the banks of the navigable Ourthe. In total 82% of the banks are natural and 18% are artificial. In the section from Nisramont to Barvaux natural banks account for a percentage greater than 90% and this value decreases to 80% down to Hamoir. In the Hamoir-Tilff section the percentage of artificial banks becomes more significant, ranging from 40 to 50%. The artificialisation of banks is about 50% downstream from Tilff and is complete in the lower section, between Streupas and The Meuse in Liège.

As to the techniques used, GIREA notes a predominance of rubble-stone walls (60%) in relation to rip-raps (30%), concrete walls (6%) and gabions (4%), this latter technique only having been applied recently in this part of the Ourthe.

More recently the protection of banks by vegetalised gabions has been undertaken, notably on the Ourthe at Tilff (Figure 19) as well as on the Hoëgne. These techniques have been developed thanks to numerous experiments carried out by Dethioux (1989).

■ Improvement of water quality

The improvement of water quality in the Ourthe basin is achieved through different techniques suited to the extreme heterogeneity of the territory, according to population density, load of pollution (type and quantity) and topography.

❖ waste control and limitation

Industrial and assimilated (intensive cattle breeding) waste is subject to authorisation, which reduces the toxicity of the hydrographical network. Moreover, the waste taxation according to the amount of UCP produced encourages industries to reduce the production of waste and to recycle it.

Hay que destacar igualmente que, en lo que se refiere al control del flujo, está previsto el mantenimiento de un cierto caudal aguas abajo de diferentes presas (Nisramont y Eupen). Por el contrario, no hay política de "purga" (suestras de embalses), porque los problemas de aterramiento de estos embalses no se plantean con la misma importancia que en algunos embalses alpinos, por ejemplo.

■ Control de la erosión de márgenes

El GIREA (1988) ha realizado un inventario general de las márgenes del Ourthe navegable. En total, el 82% de las márgenes son naturales y el 18% artificiales. En el sector de Nisramont en Barvaux, las márgenes naturales representan un porcentaje superior al 90% y se mantienen en valores superiores al 80% hasta Hamoir. En el tramo Hamoir-Tilff, el porcentaje de márgenes artificiales es cada vez más importante, situándose entre el 40 y el 50%. A partir de Tilff, la artificialización de las márgenes del Ourthe sobrepasa el 50%, siendo total en el último tramo, entre Streupas y Les Grosses bates.

En cuanto a las técnicas utilizadas, el GIREA resalta un predominio de los muros de mampostería (60%), frente a las escolleras (30%), a los muros de hormigón (6%) y a los gaviones (4%), siendo esta última técnica de utilización bastante reciente en esta parte del Ourthe.

Más recientemente, se han llevado a cabo protecciones de márgenes mediante gaviones vegetalizados, principalmente en el Ourthe en Tilff (Figura 19), así como en el Hoëgne. El desarrollo de estas técnicas de vegetalización de márgenes ha sido posible gracias a las numerosas experiencias efectuadas por Dethioux (1989).

■ Mejora de la calidad del agua

La mejora de la calidad del agua en la cuenca del Ourthe se basa en la utilización de diferentes técnicas adaptadas a la extrema heterogeneidad del territorio afectado, en función de la densidad de población, de la carga contaminante (tipo y cantidad) y de la topografía.

❖ Control y limitación de los vertidos

Los vertidos industriales y los asimilados (procedentes de instalaciones para la cría industrial de ganado) están sujetos a autorización, lo cual limita su toxicidad para la red hidrográfica. Además, el cobro de tasas de vertido en función de las Unidades de Carga Contaminante anima a las industrias contaminantes a reducir la producción de desechos y a reciclarlos.

Notons également qu'en ce qui concerne le contrôle de l'écoulement, un débit réservé est prévu à l'aval des différents barrages (cas à Nisramont et à Eupen). En revanche, il n'y a pas de politique de "purgé" (effet de chasse des barrages) parce que les problèmes d'envasement des retenues ne se pose pas avec la même importance que dans certaines retenues alpines par exemple.

■ Contrôle de l'érosion des berges

Le GIREA (1988) a dressé un inventaire général des berges de l'Ourthe navigable. Au total, 82% des berges sont naturelles et 18% sont artificielles. Dans le secteur de Nisramont à Barvaux, les berges naturelles représentent un pourcentage supérieur à 90% et se maintiennent à plus de 80% jusqu'à Hamoir. Dans le tronçon Hamoir-Tilff, le pourcentage de berges artificielles devient plus important, oscillant entre 40 et 50%. A partir de Tilff, l'artificialisation des berges de l'Ourthe dépasse 50% pour être totale dans le dernier tronçon, entre Streupas et Les Grosses bates.

Quant aux techniques utilisées, le GIREA note une prédominance des perrés en moellons (60%) par rapport aux enrochements (30%), aux murs bétonnés (6%) et aux gabions (4%), cette dernière technique étant assez récente d'utilisation dans cette partie de l'Ourthe.

Plus récemment, des protections de berge par gabions végétalisés ont été mises en œuvre, notamment sur l'Ourthe à Tilff (Figure 19) ainsi que sur la Hoëgne. Ces techniques de végétalisation sur les berges ont pu être développées grâce aux nombreuses expériences effectuées par Dethioux (1989).

■ Amélioration de la qualité de l'eau

L'amélioration de la qualité de l'eau dans le bassin de l'Ourthe repose sur différentes techniques adaptées à l'extrême hétérogénéité du territoire concerné au point de vue de la densité de population, de la charge polluante produite (type et quantité) et de la topographie des lieux.

❖ Contrôle et limitation des rejets

Les rejets industriels et assimilés (élevages industriels) sont soumis à autorisation, ce qui en limite la toxicité pour le réseau hydrographique. De plus, la taxation de ces rejets au nombre d'Unités de Charge Polluante produite incite les industries polluantes à réduire leur production de déchets et à les recycler.

❖ Collection and treatment of sewage water

The policy of purification of sewage water in the Ourthe basin implies the collection of sewage water in a network of sewers, connected to a collector which carries it to a treatment plant. This type of complete infrastructure (sewer-large collector-treatment plant) is still infrequent even though efforts have been made recently, notably in a part of the Liège region including the university complex of Sart-Tilman. A particular case is the Vesdre river across the Verviers conglomeration. From 1971, sewage water has been collected in a collector of 17.5 km bordering the river and discharging them downstream of the town, up to now without treatment (a treatment plant of 110,000 EH with tertiary treatment is under construction). This technique has enabled an improvement in quality of water and aquatic environment across the town, but has concentrated the pollution downstream. In many other municipalities projects are underway to make effective the municipal sewer system plans which will condition the public investment programme (MRW) to purify domestic sewage water. Each municipal sewer system plan must principally identify the entities which will benefit, according to topography and the number of houses concerned, from a treatment system on a big scale (collector plus treatment plant), or on a small scale (collector towards small treatment plant), or from an individual treatment system (dispersed habitats with technically impossible or extremely costly links to a sewer network).

Plans for sewer systems and treatment in the Ourthe basin, as elsewhere in the Walloon Region, do not anticipate a separate collection of sewage and rainwater, which constitutes a weak point. Treatment technologies used in the Ourthe basin are classical: activated sludge, bed fluidified and very little lagooning. The plants built before 1993 are not equipped with tertiary anti-eutrophication treatments. This type of equipment is available at the more recent plants built after 1993.

The treatment of sewage water in the Ourthe basin will be efficient in those entities which produce a high pollutant load and are or will be provided with a treatment plant. On the other hand, the general installation of sewer networks and collectors without the simultaneous construction of treatment plants risks degrading the ecology of numerous small water courses used as sewage water receptors.

❖ Recogida y tratamiento de aguas residuales

La política de depuración de las aguas residuales en la cuenca del Ourthe se basa en una recogida de las aguas residuales en una red de alcantarillado, reuniéndose en un gran colector que las conduce a una estación de depuración. Este tipo de infraestructura (alcantarillado - gran colector - estación depuradora) es todavía poco frecuente, aunque recientemente se hayan hecho esfuerzos en este sentido, principalmente en una parte de la región de Lieja que comprende el complejo universitario de Sart-Tilman. El Vesdre, en su travesía de la población de Verviers, constituye un caso particular. A partir de 1971, se han reunido las aguas residuales en un colector de 17,5 km que bordea el río, vertiéndolas en el río aguas abajo de la ciudad, sin ningún tipo de depuración hasta la fecha (actualmente se está construyendo una estación de depuración para 110.000 HE, con tratamiento terciario). Esta técnica ha permitido mejorar sensiblemente la calidad del agua y del medio ambiente en la travesía de la ciudad, pero la ha concentrado aguas abajo. En otras muchas localidades, se están elaborando planes municipales de alcantarillado que van a condicionar el programa de inversiones públicas (MRW) en materia de depuración de aguas residuales domésticas. Cada plan municipal de alcantarillado debe identificar fundamentalmente las entidades que, en función de la topografía y del número de viviendas afectadas, serán objeto de una depuración colectiva a gran escala (colector hacia una gran estación depuradora) o a pequeña escala (colector hacia una pequeña estación depuradora) o de una depuración individual (hábitat disperso cuya conexión a una red de alcantarillado es técnicamente imposible o muy costosa).

Al igual que ocurre en otras zonas de la Región Valona, los planes de alcantarillado y depuración de la cuenca del Ourthe presentan un punto débil: no prevén la recogida separada de aguas residuales y de aguas pluviales. Las tecnologías de depuración utilizadas en la cuenca del Ourthe son clásicas: fangos activados y lecho fluidificado y muy poco lagunaje. Las estaciones depuradoras construidas antes de 1993 no disponen de tratamiento terciario anti-eutrofización. Este tipo de equipamiento está operativo en las estaciones más recientes, construidas después de 1993.

El tratamiento de las aguas residuales en la cuenca del Ourthe va a resultar beneficioso en las entidades que producen una gran carga contaminante y están o estarán provistas de una estación de depuración. Por el contrario, con la instalación generalizada de redes de alcantarillado y de colectores sin construcción simultánea de estaciones depuradoras, se corre el riesgo de degradar la ecología de numerosos cursos de agua pequeños utilizados como receptores de las aguas residuales.

❖ Collecte et traitement des eaux usées

La politique d'épuration des eaux usées dans le bassin de l'Ourthe repose sur une collecte des eaux usées dans un réseau d'égouts qui se rassemblent en un collecteur qui conduit à une station d'épuration. Ce type d'infrastructure complète (égouttage - grand collecteur - station d'épuration) est encore peu fréquente bien que des efforts aient été faits récemment, notamment dans une partie de la région liégeoise comprenant le complexe universitaire du Sart-Tilman. Un cas particulier est celui de la Vesdre dans la traversée de l'agglomération de Verviers. A partir de 1971, les eaux usées ont été rassemblées dans un collecteur de 17,5 km longeant la rivière et se jetant dans la rivière en aval de la ville, sans épuration jusqu'à ce jour (une station d'épuration de 110.000 EH avec traitement tertiaire est en cours de construction). Cette technique a permis d'améliorer sensiblement la qualité de l'eau et de l'environnement aquatique dans la traversée de la ville mais a concentré la pollution en aval. Dans beaucoup d'autres localités, sont en train de s'élaborer les Plans communaux d'égouttage qui vont conditionner le programme d'investissements public (MRW) en matière d'épuration des eaux usées domestiques. Chaque plan communal d'égouttage doit notamment identifier les entités qui, en fonction de la topographie des lieux et du nombre d'habitations concernées, feront l'objet d'une épuration collective à grande échelle (collecteur vers grande station d'épuration) ou à petite échelle (collecteur vers petite station d'épuration) ou d'une épuration individuelle (habitat dispersé avec raccordement à un réseau d'égouts techniquement impossible ou trop coûteux).

Les plans d'égouttage et d'épuration dans le bassin de l'Ourthe, comme ailleurs en Région wallonne, ne prévoient pas une collecte séparée des eaux usées et des eaux pluviales, ce qui constitue un point faible. Les technologies d'épuration utilisées dans le bassin de l'Ourthe sont classiques: boues activées et lit fluidisé et très peu de lagunage. Les stations d'épuration construites avant 1993 ne disposent pas d'un traitement tertiaire anti-eutrophisation. Ce type d'équipement est fonctionnel sur les stations les plus récentes construites après 1993.

Le traitement des eaux usées dans le bassin de l'Ourthe va se révéler bénéfique dans les entités qui produisent une grande charge polluante et sont ou seront pourvues d'une station d'épuration. En revanche, l'installation généralisée de réseaux d'égouts et de collecteurs sans construction simultanée des stations d'épuration risque de dégrader l'écologie de nombreux petits cours d'eau utilisés comme récepteurs des eaux usées.

❖ *Improvement of aquatic and riparian habitats*

Activities towards the improvement of aquatic and riparian habitats are actually quite limited in the Ourthe basin. Efforts to preserve the aquatic environment are mainly centred on the practise or recommendation of operations with a zero or extremely low incidence, notably in the area of maintenance works on water courses which involves cleaning out, dredging and control of vegetation lining the banks. Examples of some tiny works carried out are:

- maintenance [in place], after stabilisation by vegetisation, of gravel island downstream of the small Vesdre dam;
- development of artificial floating spawning grounds for pike and roach in the Butgenbach and Robertville lakes subjected to level fluctuations (hydroelectricity) (Herman, 1994);
- execution by the management of navigable water courses, at the request of fishermen, of several small developments of the aquatic environment: maintenance, by digging, of water circulation in side arms (at the height of the islands) of the Ourthe at Hamoir (rheophilic fish) and at Poulseur (pike spawning grounds) as well as of the old Ourthe canal at Poulseur (spawning grounds for slow water fish).

❖ *Restoration*

For the Ourthe basin, river restoration includes essentially activities for re-establishing fish migration by the construction of fish ways on the small dams. These activities are carried out in the context of the two programmes outlined below.

The first programme aims to reintroduce disappeared species of migratory fish, particularly Atlantic salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*). This programme, named Meuse Saumon 2000 deals primarily with the navigable water courses on the Meuse-Ourthe axis and is carried out jointly by two Walloon Regional Ministries (Equipment and Transport as far as improving dams is concerned and Natural Resources and the Environment, which deals with the fish) with the support of university laboratories which provide scientific follow-up. The different dams of the navigable sections of the Ourthe and Amblève have been classified and their degree of 'passing trough' by fish has been evaluated thanks to the behaviour of migratory fish equipped with radio transmitters (Baras and Philippart, 1996; Ovidio *et al.*, 1996). The programme is at the stage of carrying out plans for a migratory pass to be constructed by 2002 on the Angleur dam, 2 km upstream of its confluence with the Meuse.

❖ *Mejora de los hábitats acuáticos y riparios*

Las actuaciones de mejora de los hábitats acuáticos y riparios en la cuenca del Ourthe son muy limitadas actualmente, debido a que los esfuerzos en materia de preservación del medio acuático están centrados sobre todo en la práctica o en la recomendación de la ausencia de intervención (o muy pequeña), principalmente en lo que se refiere a obras de mantenimiento de los cursos de agua que implican limpiezas, dragados y control de la vegetación arbórea de las márgenes. Algunas micro-realizaciones son las siguientes:

- fijación, mediante vegetación, en el Vesdre, de una isla de gravas aguas abajo de una pequeña presa;
- acondicionamiento de frezaderos flotantes artificiales, para el lucio y el cacho, en los embalses de Butgenbach y Robertville, sometidos a oscilaciones de nivel (hidroelectricidad) (Herman, 1994);
- ejecución, por parte del responsable de la gestión de los cursos de agua navegables y a petición de los pescadores, de pequeños acondicionamientos ecológicos del medio acuático: mantenimiento, por profundización, de la circulación del agua en brazos laterales del Ourthe en Hamoir (peces reófilos) y en Poulseur (frezadero para lucio) así como en el antiguo canal del Ourthe en Poulseur (frezadero para peces de aguas tranquilas).

❖ *Restauración*

En la cuenca del Ourthe, la restauración fluvial está constituida por las actuaciones de restablecimiento de la libre circulación de peces mediante la construcción de obras de paso en las presas pequeñas. Estas actuaciones se llevan a cabo en el marco de los dos programas que se exponen a continuación.

El primer programa tiene como objetivo volver a introducir especies desaparecidas de peces migratorios, como son el salmón atlántico (*Salmo salar*) y la trucha de mar (*Salmo trutta*). Este programa, denominado Meuse Saumon 2000, afecta preferentemente a los cursos de agua navegables del eje Mosa-Ourthe y se lleva a cabo conjuntamente por dos Ministerios de la Región Valona (de Equipamiento y Transportes, en lo que se refiere a las instalaciones de las presas, y el de Recursos naturales y Medio Ambiente, en lo que se refiere a los peces) con el apoyo de Laboratorios universitarios para el seguimiento científico. Se han inventariado las diferentes presas de la parte navegable del Ourthe y se ha evaluado su grado de "franqueabilidad" por parte de los peces, gracias al análisis del comportamiento de peces provistos de equipos emisores de radio (Baras y Philippart, 1996; Ovidio *et al.*, 1996). El programa se encuentra actualmente en la fase de elaboración de los planos del paso migratorio a

❖ *Amélioration des habitats aquatiques et ripariens*

Les actions d'amélioration des habitats aquatiques et ripariens sont actuellement très limitées dans le bassin de l'Ourthe dans la mesure où les efforts en matière de préservation du milieu aquatique sont surtout centrés sur la pratique ou la recommandation de l'intervention zéro ou très faible, notamment pour ce qui concerne les travaux d'entretien des cours d'eau impliquant des curages, dragages et contrôle de la végétation ligneuse des berges. Les quelques micro-réalisations concrètes sont les suivantes:

- maintien en place, après stabilisation par végétalisation, d'une île de gravier en aval d'un petit barrage dans la Vesdre;
- aménagement de frayères artificielles flottantes pour le brochet et le gardon dans les lacs de Butgenbach et Robertville soumis à des baisses de niveau (hydroélectricité) (Herman, 1994);
- exécution par le gestionnaire des cours d'eau navigables et à la demande des pêcheurs de divers petits aménagements écologiques du milieu aquatique: entretien, par recreusement, de la circulation de l'eau dans des bras latéraux (à hauteur d'îles) de l'Ourthe à Hamoir (poissons rhéophiles) et à Poulseur (frayère à brochet) ainsi que dans l'ancien canal de l'Ourthe à Poulseur (frayère à poissons d'eau lente).

❖ *Restauration*

Pour le bassin de l'Ourthe, la restauration fluviale concerne essentiellement les actions de rétablissement de la libre circulation des poissons par la construction d'ouvrages de franchissement sur les petits barrages. Ces actions sont menées dans le cadre de deux programmes évoqués au point.

Le premier programme vise la réintroduction d'espèces de poissons migrateurs disparues, en l'occurrence le saumon atlantique (*Salmo salar*) et corollairement la truite de mer *Salmo trutta*. Ce programme appelé Meuse Saumon 2000 concerne prioritairement les cours d'eau navigables de l'axe Meuse-Ourthe et est mené conjointement par deux Ministères de la Région wallonne (Équipement et Transports pour ce qui concerne l'équipement des barrages et Ressources naturelles et de l'Environnement pour ce qui concerne les poissons) avec l'appui de Laboratoires universitaires pour les suivis scientifiques. Les différents barrages de la partie navigable de l'Ourthe et de l'Amblève ont été inventoriés et leur degré de 'franchissabilité' par les poissons a été évalué, notamment grâce à l'analyse du comportement de poissons migrateurs équipés d'émetteurs radio (Baras et Philippart, 1996; Ovidio *et al.*, 1996). Le programme est au stade de l'élaboration des plans de la passe

The second programme is a plan to install migratory fish ways on the physical obstacles in the navigable and non-navigable water courses in the whole Meuse basin (and thus in the Ourthe), in the framework of the Benelux directive of April 1996 for the re-establishment of fish migration in the area concerned. In the context of this programme the first fishway has been installed on the Bomal dam on the Aisne, close to its confluence with the Ourthe. This pool type fishway, built in 1996, is equipped with a trapping system which allows scientific follow up of the fish ascents and therefore an evaluation of the efficiency of this operation. A second dam situated directly upstream will soon be equipped with a migratory pass, as well as a planned trapping system to enable monitoring. Future developments could involve the building of Dénil type fishways.

❖ *Preservation of historical elements*

The most important historical relic preserved in the Ourthe basin is a reach of about 2 km of the old Ourthe canal at Poulseur. The restoration has been concerned with rebuilding locks upstream and downstream and with rewatering the canal with a view to practising fishing and local activities focused on the theme of ancient navigation. These preservation activities also concern ancient water mills. It would be wise to extend this form of protection of historical elements to the fish ladder of the Angleur dam on the lower Ourthe. This fish ladder is the prototype of a 'Denil type fishway, named after the Belgian engineer from the Administration of Public Works who conceived and established it in 1909 in order to stop the decrease of Atlantic salmon following the construction of the Angleur dam in 1905 (Denil, 1909).

3.2.2. STRUCTURAL AND NON-STRUCTURAL TECHNIQUES

■ To reduce flooding

❖ *the use of existing dams*

Table 11 summarises the types of dam in the Ourthe basin, their location, their characteristics and their function.

construir, antes del año 2002, en la presa de Angleur, sobre el Ourthe, a 2 km de su desembocadura en el Mosa.

El segundo programa es un plan de instalación de pasos para peces migratorios en los obstáculos físicos de los cursos de agua navegables y no navegables del conjunto de la cuenca del Mosa (y, por tanto, en el Ourthe), cumpliendo así la directiva Benelux de abril de 1996, relativa al restablecimiento de la libre circulación de peces en dicho ámbito. En el marco de este programa, se ha realizado una primera obra en la presa de Bomal, en el Aisne, en las proximidades de la confluencia con el Ourthe. Dicha obra, construida en 1996 con motivo de una reparación del aliviadero, es un paso constituido por estanques sucesivos. Dicho paso está equipado con un sistema de control que permite un seguimiento científico de los peces y, en consecuencia, una evaluación de la eficacia de la obra. Aguas arriba existe una segunda presa en la que se va disponer próximamente un paso migratorio provisto también de una trampa para capturar los peces y controlarlos. El resto de los acondicionamientos previstos podrían estar constituidos por pasos con ralentizadores de tipo Denil.

❖ *Protección de elementos históricos*

El vestigio histórico más importante de los que se encuentran protegidos en la cuenca del Ourthe es un tramo de unos 2 km de longitud del antiguo canal del Ourthe, en Poulseur. La restauración se ha centrado en la reconstrucción de las esclusas de aguas arriba y de aguas abajo y la puesta en circulación del agua, y ha tenido como objetivos la práctica de la pesca y el desarrollo de una actividad local centrada en el tema de la antigua navegación. Otras acciones de protección se refieren también a la protección de los antiguos molinos de agua. Sería lógico extender esta forma de protección de elementos históricos a la escala de peces de la presa de Angleur en el bajo Ourthe. Dicha escala de peces constituye el prototipo de la denominada Denil en honor al ingeniero belga de la Administración de Obras Públicas que la concibió e hizo construir en 1909, con objeto de intentar frenar la regresión del salmón atlántico derivada de la construcción de la presa de Angleur en 1905 (Denil, 1909).

3.2.2. TÉCNICAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

■ Para reducir las inundaciones

❖ *Utilización de las presas existentes*

La Tabla 11 constituye un resumen de los tipos de presas existentes en la cuenca del Ourthe, de su localización, de sus características y de su finalidad.

migratoire à construire pour 2002 sur le barrage d'Angleur sur l'Ourthe à 2 km de l'embouchure dans la Meuse.

Le deuxième programme est un plan d'équipement de passes migratoires à poissons sur les obstacles physiques dans les cours d'eau navigables et non navigables de l'ensemble du bassin de la Meuse et, en l'occurrence de l'Ourthe, en exécution d'une directive Bénélux d'avril 1996 relative au rétablissement de la libre circulation des poissons dans le domaine concerné. Dans le cadre de ce programme, un premier ouvrage de franchissement a été installé sur le barrage de Bomal sur l'Aisne, à proximité de la confluence avec l'Ourthe. L'ouvrage de franchissement, construit en 1996 à la faveur d'une réparation du déversoir, consiste en une passe à bassins successifs. La passe migratoire est équipée d'un système de piégeage qui permet un suivi scientifique des remontées de poissons et donc une évaluation de l'efficacité de l'ouvrage. Un deuxième barrage situé directement en amont va être prochainement équipé d'une passe migratoire, aussi pourvue d'un piège de capture pour les contrôles. Les autres aménagements prévus pourraient être des passes à ralentisseurs du type Denil.

❖ *Préservation d'éléments historiques*

Le plus important vestige historique préservé dans le bassin de l'Ourthe est un bief d'environ 2 km de l'ancien canal de l'Ourthe à Poulseur. La restauration a porté sur la réfection des écluses amont et aval et sur la remise sous eau du canal en vue de la pratique de la pêche et d'une animation locale centrée sur le thème de la navigation ancienne. Des actions de préservation concernent aussi les anciens moulins à eau. Il serait judicieux d'étendre cette forme de protection d'éléments historiques à l'échelle à poissons du barrage d'Angleur sur la Basse Ourthe. Cette échelle à poissons est le prototype de l'échelle à ralentisseur appelée 'échelle Denil', du nom de l'ingénieur belge de l'Administration des Travaux publics qui l'a conçu et fait mettre en place en 1909 afin de tenter de freiner la régression du saumon atlantique consécutive à la construction du barrage d'Angleur en 1905 (Denil, 1909).

3.2.2. TECHNIQUES STRUCTURELLES ET NON STRUCTURELLES

■ Pour réduire les inondations

❖ *L'utilisation des barrages actuels*

Le Tableau 11 donne un récapitulatif des types de barrages installés dans le bassin de l'Ourthe, de leur localisation, de leur caractéristiques et de leur finalité.

In fact none of these dams, originally at least, have the function of protecting against floods. However since the end of the 1970s the policy of the management of these storage dams has evolved, especially in the case of the two dams built in the Vesdre basin (Eupen dam, Gileppe dam). The following management is used (Figures 20, 20bis): the lake is maintained non completely filled in order to keep available a volume for water stocking during floods of tributaries. This allows the flood peaks from other rivers downstream in the basin to flow first. This technique works efficiently as the floods frequency in the Vesdre valley have thus been reduced by half. The management of these storage dams is nevertheless very delicate. Indeed, flood control requires sometimes preventive water releases (with difficulties of the prediction of volumes and time of floods), which is diametrically opposed to the initial aim of these dams, (drinking water storage).

The Electrabel society, which manages the Butgenbach and Robertville hydropower dams, has recently adopted a similar policy. As their storage capacity is relatively small, the impact is only efficient for limiting the Warche floods and partly those of the Amblève.

En realidad, ninguna de estas presas ha tenido como finalidad, en sus orígenes, la protección frente a inundaciones. No obstante, desde finales de los años setenta, la política de gestión de estos embalses ha evolucionado, especialmente en lo que se refiere a los dos embalses instalados en la cuenca del Vesdre (presa de Eupen y presa de Gileppe). La técnica utilizada (Figuras 20 y 20bis) consiste en mantener disponible una determinada franja del embalse, de manera que se puedan almacenar las crecidas de los ríos que alimentan el embalse, lo cual permite dejar pasar en primer lugar las crecidas de los otros ríos situados aguas abajo. A la vista de la capacidad de los embalses, esta técnica ha resultado eficaz, ya que se estima que la frecuencia de las inundaciones en el valle del Vesdre se ha reducido a la mitad. La gestión de estos embalses es muy delicada, ya que el hecho de asegurar una protección frente a las inundaciones, con sueltas preventivas (que precisan una predicción del instante de producción de las crecidas y de su volumen), es diametralmente opuesta al papel principal, inicialmente considerado, de garantizar las reservas de agua potable.

La sociedad Electrabel, que gestiona las presas de Butgenbach y de Robertville, ha adoptado recientemente una política parecida. Sin embargo, como los embalses tienen capacidades menores, el resultado no es eficaz más que para las crecidas del Warche y, en menor medida, para las del Amblève.

En fait aucun de ces barrages n'a, à l'origine du moins, une finalité de protection contre les inondations. Toutefois, depuis la fin des années septante, la politique de gestion de ces retenues a évolué, spécialement en ce qui concerne les deux barrages installés dans le bassin de la Vesdre (barrage d'Eupen et barrage de la Gileppe). La technique dite d'empolement est utilisée (Figures 20, 20bis), elle consiste à maintenir une tranche disponible d'une partie du lac préventivement, de façon à pouvoir stocker les crues des rivières alimentant la retenue, ce qui permet de laisser d'abord passer les crues des autres rivières situées en aval. Au vu de la capacité des retenues, cette technique s'est révélée efficace puisqu'on estime que la fréquence des inondations dans la vallée de la Vesdre a été ainsi réduite de moitié. La gestion de ces retenues est cependant fort délicate dans la mesure où le fait d'assurer une protection contre les inondations, avec des lâchés préventifs (nécessitant une prédiction du volume et du moment des crues), est diamétralement opposé au rôle initial et encore principal de ces retenues puisqu'il s'agit de garantir des réserves d'eau potable.

La société Electrabel qui gère les barrages de Butgenbach et Robertville, a adopté récemment une politique similaire. Toutefois, comme les retenues ont des volumes moins importants, l'impact ne se révèle efficace que pour les crues de la Warche et dans une moindre mesure pour celle de l'Amblève.

Table 11. The dams of the Ourthe basin
Tabla 11. Las presas de la cuenca del Ourthe
Tableau 11. Les barrages du bassin de l'Ourthe

	Date (a)	Lake capacity	Watershed	Function	Type
Vesdre	1949	25	106 (b)	drinking water	weight in concrete
Gileppe	1876/1971 (c)	26,4	54 (d)	drinking water	weight (e)
Butgenbach	1932	11	72	energy + tourism	multiple archways
Robertville	1929	7,7	118	energy + tourism	weight in concrete
Nisramont	1958	3	740	drinking water	weight in concrete

(a) date brought into service

(b) including the Helle basin, diverted by tunnel

(c) retention capacity after the heightening carried out in 1971

(d) including the Soor basin, diverted by tunnel

(e) initially a dam of a type [weight in rubble-work]; after heightening [in rip-rap] around the nucleus of the old dam.

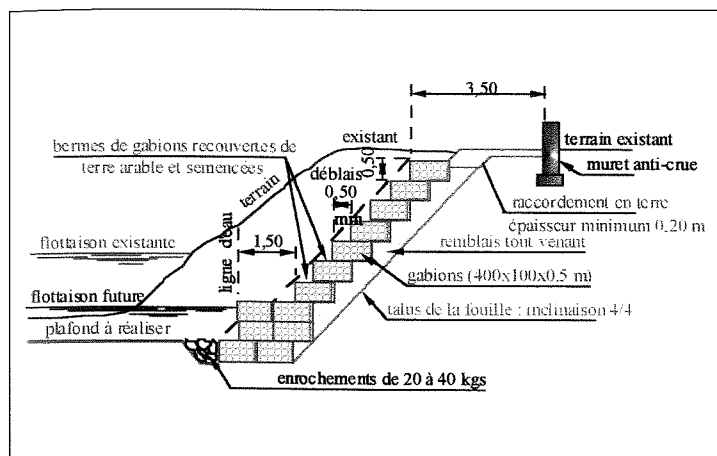
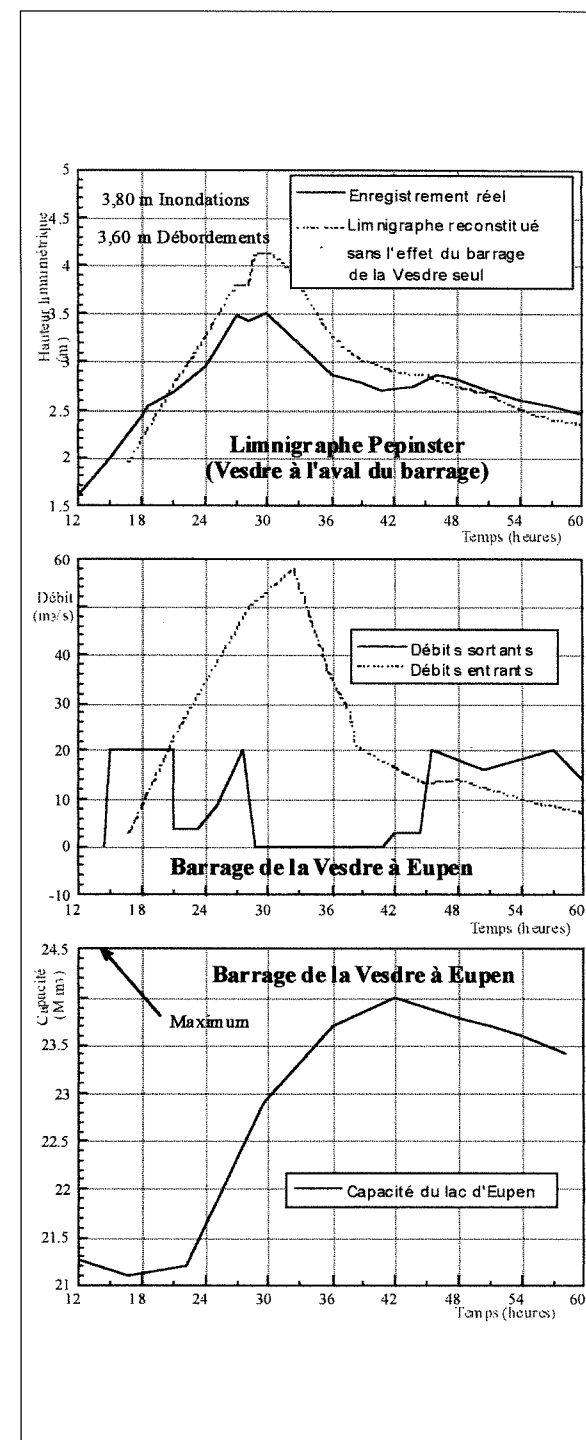
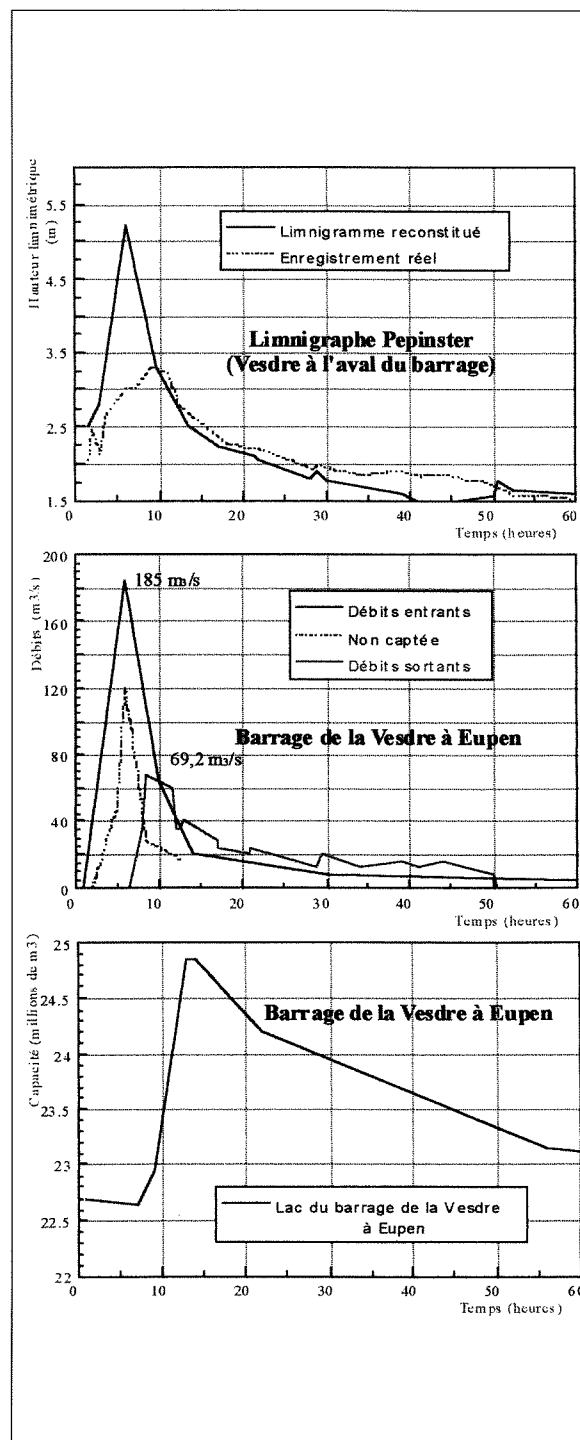


Figure 19. Example of bank protection by vegetated gabions
Figura 19. Ejemplo de protección de margen con gaviones vegetalizados
Figure 19. Exemple de protection de berge avec gabions végétalisés

Figure 20. Diagram giving an example of peak flood discharge control (Vesdre basin) (document communicated by the Dam Department)
Figura 20. Diagrama-ejemplo de laminación de avenida (valle del Vesdre) (Documento facilitado por el Servicio de Presas)
Figure 20. Diagramme donnant un exemple d'écêtement de crue (vallée de la Vesdre) (Document communiqué par le Service des barrages)

Figure 20 bis. Exemple of flood (Vesdre dam) (Source: Dam Service, Eupen)
Figura 20 bis. Ejemplo de laminación de avenida (Presa del Vesdre) (Fuente: Servicio de Presas, Eupen)
Figure 20 bis. Exemple d'écêtement de crue (Barrage de la Vesdre) (Source: Service des barrages, Eupen)



Basin use at the Coo powerplant

Up to the middle of the 17th century the Amblève formed a meander which is today called the Coo contour. At the that period the monks of the Stavelot abbey short-circuited this loop in order to create the Coo waterfall. The abandoned loop attracted Belgian electricity producers which found in it a favourable site for the construction of a powerplant for energy storing by pumping. Its aim was to supply the high-tension network responding quickly to selective clientele demand. Variable demand, inability to stock electrical energy and basic economical production by nuclear powerplants has induced a diversity of production techniques in order to have available a semi-instantaneous reserve in case of the blackout of another part of the production grid.

The first of two developmental phases, concluded in 1967, was initiated in 1971. Thanks to the installation of three groups of turbo-alternators, followed by three others of increased power, available power rose to 1,100 MW. Present Belgian means of production provide 5,500 MW nuclear energy, 7,200 MW thermal energy, 100 MW hydraulic energy, and the rest by reversal pumped energy.

The lower basin has not been changed, with two dykes cutting off the meander from the natural course of the Amblève. Two artificial lakes, functioning like upper lakes, have been built at the top of the plateau. Other works have been performed underground including the machine room with 6 pumps-turbines, a assembling and reparation area, the command pannels, the pipes and several service passages. The level difference varying between 230 and 275 m allows two basins with greater than 4 and 4.5 million m³ respectively to supply turbines for 6 hours at maximum power.

Now there is a plan for a third basin at Coo, which will have to take benefit from existing infrastructures and respond to the changes in factors influencing electricity production. An important part of the impact and feasibility studies concerns hydrology and more specifically original methodologies for reducing the floods in the Amblève and lower Ourthe basin. This third basin could act as a storage basin, by pumping for a short time the excess of the Amblève discharge in order to damp the peak discharge of the Amblève.

A hydrological model has been used on these hydrological basins by the University of Liège, Hydrology Department. Starting from topography and digitalised land use maps, the model has been fitted using measured series of rainfall events. The choice of the 'design rainfalls' result from a statistical

Utilización de los depósitos de la central de Coo

Hasta mediados del siglo XVIII, el Amblève trazaba un meandro que se conoce hoy día con el nombre de la vuelta de Coo. En esa época, los monjes de la abadía de Stavelot cortaron este bucle para crear la cascada de Coo. El meandro abandonado ha atraído la atención de los productores belgas de energía eléctrica, quienes vieron en él un lugar propicio para la construcción de una central de acumulación de energía mediante bombeo. Su finalidad es la de alimentar la red de alta tensión, respondiendo de manera eficaz y rápida a las demandas puntuales de la clientela. Habida cuenta de que las necesidades varían, que la energía eléctrica no puede ser almacenada y que las centrales más económicas (nucleares) proporcionan la energía de base, resultaba interesante diversificar las técnicas de producción para disponer de una reserva cuasi-instantánea en caso de fallo de otro elemento del sistema de producción.

En 1967 se comenzó con la primera de las dos fases del aprovechamiento, que terminaron finalmente en 1971. Gracias a la instalación de tres grupos turbo-alternadores, seguida de otros tres de potencia mayor, la potencia disponible asciende a 1.100 MW. A modo de recordatorio, cabe señalar que el suministro de energía eléctrica en Bélgica está asegurado por 5.500 MW en grupos nucleares, por 7.200 MW en centrales térmicas, por 100 MW en centrales hidráulicas y el resto por centrales reversibles.

El depósito inferior se ha mantenido tal cual, con dos diques destinados a aislar el meandro del curso natural del Amblève. En la meseta alta se han acondicionado dos embalses artificiales que desempeñan el papel de depósitos superiores. El resto de las obras son subterráneas, desde la caverna de la central que acoge 6 grupos, una zona de montaje y los cuadros de mando, hasta las conducciones que conectan los embalses y las diversas galerías de acceso. El salto bruto varía entre 230 y 275 m. Los dos embalses superiores, de 4 y 4,5 hm³ de capacidad, respectivamente, permiten turbinar a plena potencia durante 6 horas.

Actualmente, se plantea la construcción de un tercer embalse en Coo, con objeto de valorizar los equipamientos existentes y responder a la evolución de los factores que influyen en la producción de electricidad. En los estudios de viabilidad y de impacto, una de las facetas es la que se refiere a la hidrología y más específicamente a un medio original de luchar contra las inundaciones en la cuenca del Amblève y, en consecuencia, en la cuenca del Ourthe. Este tercer embalse podría

L'utilisation des bassins de la centrale de Coo

Jusqu'au milieu du XVIII^e siècle, l'Amblève dessinait un méandre que l'on appelle aujourd'hui le tour de Coo. A cette époque, les moines de l'abbaye de Stavelot court-circuitèrent cette boucle pour créer la cascade de Coo. Le méandre alors délaissé a attiré les producteurs belges d'électricité qui y ont trouvé un site propice pour la construction d'une centrale d'accumulation d'énergie par pompage. Son but est d'alimenter le réseau haute tension en répondant efficacement et très rapidement aux demandes ponctuelles de la clientèle. Dès lors que les besoins varient, que l'énergie électrique ne peut être stockée et que les centrales les plus économiques (nucléaire) fournissent l'énergie de base, il était intéressant de diversifier les techniques de production pour disposer d'une réserve quasi-instantanée en cas de défaillance d'un autre élément du parc de production.

En 1967 a été entamée la première des deux phases d'aménagement finalement terminées en 1971. Grâce à l'installation de trois groupes de turbo-alternateurs, suivie de trois autres de puissance accrue, la puissance disponible s'élève à 1.100 MW. Pour rappel, les moyens actuels de production belges sont assurés pour 5.500 MW par le nucléaire, pour 7.200 MW par le thermique, pour 100 MW par l'hydraulique, le reste par pompage.

Le bassin inférieur a été conservé tel quel, avec deux digues destinées à isoler le méandre vis-à-vis du cours naturel de l'Amblève. Deux lacs artificiels, faisant office de lacs supérieurs, ont été aménagés au sommet du plateau. Les autres ouvrages sont construits en souterrain, depuis la salle des machines qui abrite les 6 unités, un plateau de montage et les locaux de commande jusqu'aux conduites reliant les bassins et les diverses galeries d'accès. La chute brute varie entre 230 et 275 m permet avec deux bassins supérieurs de respectivement 4 et 4,5 millions de m³ de turbiner à pleine puissance pendant 6 heures.

Un troisième bassin à Coo est à présent envisagé, qui doit valoriser les équipements existants et répondre à une évolution des facteurs influençant la production d'électricité. Dans le cadre des études de faisabilité et d'impact, un important volet concerne l'hydrologie et plus spécifiquement un moyen original de lutte contre les inondations du bassin de l'Amblève et de son corollaire, le bassin de l'Ourthe. Ce troisième bassin pourrait agir en tant que bassin écrêteur, pompant momentanément le débit excessif de l'Amblève pour amortir l'ampleur des inondations.

study of rain in the region, leading to choosing the hundred yearly and thousand yearly rainfalls. Starting from distributed rainfall on the model, the peak discharge reduction produced by pumping at the station has been computed taking into account a threshold discharge for diversion and storage and a presumed capacity of this reservoir. The retention role played by dams situated upstream has been integrated in assuming that they would retain any supply from upstream of them. The reservoir routed discharges, spread through the river down to various sites laid out downstream, have been finally added to discharge from intermediate basins in order to evaluate in detail the factors reducing flooding in the more exposed downstream areas of the Ourthe basin. Taking into account the effects of delayed action and, consequently, the completely revised combinations of tributary draining networks of the Ourthe basin, drastic reductions of flooding have been predicted.

- The Nisramont dam plays no role in regulating either flooding (apart from effects linked to the lake itself) or low water discharge (no reserved discharge).
- Because of the low rates of silting and filling of reserves no dam flushing has been carried out.

❖ Flood control reservoir plans

A first plan to built 'dry dams' was focused on the eastern Ourthe upstream of Houffalize. Different propositions have been drawn up but they concern limited retention capacities (1.5M m³ maximum). These dams were conceived with no other function than peak discharge limiting. However, one of the options was eventually anticipated for tourist use of the lake in the Summer period (during periods when the risks of flooding are minimal). This (or these) dam ought to ensure, up to decennial flooding, the protection of Houffalize and the Ourthe section up to Nisramont.

Another plan appeared, placing one or maybe several more significant flood control dams on the mid Ourthe and/or

actuar como embalse laminador, bombeando momentáneamente el exceso de caudal del Amblève para reducir la amplitud de las inundaciones.

La Unidad de Hidrología de la Universidad de Lieja ha utilizado un modelo hidrológico de cuenca bastante completo. Con cartografía digital de topografía y de usos del suelo, el modelo se ha calibrado en primer lugar con una serie de episodios lluviosos reales. A partir de un estudio estadístico de las lluvias sobre la región se ha seleccionado la lluvia de proyecto, con períodos de retorno de 100 y de 1.000 años. Partiendo de una lluvia repartida sobre el modelo, se ha modelizado la laminación provocada por el bombeo de la central, teniendo en cuenta un valor umbral de caudal para su puesta en marcha y una capacidad supuesta para el embalse. En cuanto al papel desempeñado por los embalses situados aguas arriba, se ha supuesto que absorben en su totalidad los caudales procedentes de sus cuencas. Los caudales laminados, transitados por el río hasta las zonas objeto de estudio, se han añadido a los procedentes de las cuencas intermedias, con objeto de evaluar de manera precisa los factores de reducción de la inundación. Habida cuenta de los efectos de retraso y, consecuentemente, de las combinaciones totalmente modificadas de los hidrogramas a nivel de las confluencias de la red de drenaje de la cuenca del Ourthe, se han podido prever reducciones drásticas.

- La presa de Nisramont no desempeña ningún papel regulador en las crecidas (aparte del efecto unido al propio embalse) ni en los caudales de estiaje (ausencia de caudales mínimos exigidos).
- Dado que el grado de aterramiento y de llenado de los embalses es muy pequeño, no se ha efectuado ninguna descarga de caudales para su limpieza.

❖ Los proyectos de embalses de laminación

Un primer proyecto es el que se refiere al Ourthe oriental, aguas arriba de Houffalize. Se han planteado diferentes propuestas, pero todas ellas hacen referencia a capacidades de embalse bastante limitadas (1,5 hm³ como máximo). Estas presas estaban concebidas para desempeñar un papel exclusivamente de laminación (presa verde), aunque en una de las opciones se había previsto eventualmente una explotación turística de la superficie del agua en período estival (cuando el riesgo de crecidas importantes es muy bajo). Esta (o estas) presa debía asegurar la protección de la ciudad de Houffalize y del tramo del Ourthe hasta Nisramont, por lo menos hasta el nivel de la crecida decenal.

Un modèle hydrologique complètement distribué a été utilisé sur ces bassins par le Service d'Hydrologie de l'Université de Liège. Au départ de cartes topographiques et d'occupation de sol digitalisées, le modèle a d'abord été calé sur une série d'événements pluvieux mesurés. Le choix de la pluie de projet a résulté d'une étude statistique des pluies dans la région, le choix se portant finalement sur des pluies centennales et millénaires. Au départ d'une pluie distribuée sur le modèle, le laminage provoqué par le pompage de la centrale a été modélisé en tenant compte d'un seuil d'écrtage et d'une capacité présumée de bassin. Le rôle de rétention des barrages situés en amont a été intégré en supposant qu'ils annihilent tout apport sur la partie du bassin située à leur amont. Les débits laminés, propagés en rivière jusqu'aux sites exposés en aval, ont été finalement additionnés aux débits des bassins intermédiaires afin d'évaluer in fine des facteurs de réduction d'inondation dans les zones aval les plus exposés du bassin de l'Ourthe. Compte tenu d'effets de retardement et, consécutivement, de combinaisons totalement remaniées au niveau des confluences du réseau drainant du bassin de l'Ourthe, des réductions drastiques ont pu être prédites.

- Le barrage de Nisramont ne joue aucun rôle de régulation ni sur les crues (en dehors de l'effet lié au lac lui-même), ni sur les débits d'étiages (pas de débits réservés).
- Du fait que le taux d'envasement et de remplissage des retenues est très faible, aucune chasse de barrages n'est effectuée.

❖ Les projets de bassins écrêteurs

Un premier projet d'installation de barrage écrêteur concerne l'Ourthe orientale en amont d'Houffalize. Différentes propositions ont été avancées mais elles concernent toutes des capacités de retenue assez limitées (1,5 M m³ maximum). Ces barrages étaient conçus pour ne fonctionner qu'en écrêteur (barrage vert), bien que dans une des options, il était éventuellement prévu une exploitation touristique du plan d'eau en période estivale (à des moments où les risques de crues débordantes importantes sont très faibles). Ce (ou ces) barrage devait assurer une protection de la ville d'Houffalize et du tronçon de l'Ourthe jusqu'à Nisramont, au moins jusqu'à la crue décennale.

on the Amblève, in order to provide or improve protection of the lower Ourthe against flooding. A first site had been retained in Famenne (basin capacity 11.8-14.8 m³). It consists of a "dry reservoir"; with a height of the dykes between 10 to 14 m, a width of 535 m and a flooded surface area reaching 2.9 km² on a length of 6 km. The cost of this work was estimated to be a minimum of 11.16 Meuros (in 1994).

❖ *The building of anti flood walls*

The construction of anti flood walls (Tilff example or in construction at Esneux) is often linked with other works, such as road repairing or the installation of collectors or, further, bank protection (at Tilff, for example). These constructions are localised and affects river lengths less than one kilometre. There is no unified policy. In general such walls provide protection up to decennial flooding. At Esneux 1,200 m of wall are being constructed (500 m on the right bank and 700 m on the left bank), at a cost of 6.2 Meuros, without considering the pumping station located downstream (PV Com Cons Ourthe, 09-93).

❖ *Dredging*

This technique has been applied for a long time but without co-ordinated policy. Differing from other countries, such as France, here the Belgian administration pays specialised companies to remove the gravel and pebbles.

- Standard methods
- More ecological dredging methods

The ecology of a river such as the Ourthe is strictly dependent on the large diversity of geomorphologic features and associated aquatic habitats, created by the interaction between the geological substratum, the slope-width of the course and the hydrological regime. This diversity of physical habitats and micro-habitats guarantees life and reproduction possibilities of a large number of animal species, and especially a community of fish composed of running water species which lay their eggs in or on gravelly beds well percolated by water. The ecological particularities of the Ourthe fish population have been defined and quantified through

Otro proyecto preveía la implantación de uno o varios embalses de laminación más importantes en el Ourthe medio y/o sobre el Amblève, con objeto de mejorar la protección del Ourthe inferior frente a las inundaciones. Una de las primeras ubicaciones seleccionadas estaba situada en Famenne (con una capacidad de embalse de 11,8-14,8 hm³). Se trataba aquí también de una presa denominada verde; según las diferentes opciones, la altura de la presa se situaba entre 10 y 14 m, con una anchura de 535 m, una superficie inundada de 2,9 km² y una cola de embalse de 6 km. El coste de esta obra se cifraba (en 1994) en 11,16 millones de euros como mínimo.

❖ *Construcción de muros anti-crecida*

La construcción de este tipo de muros (ejemplo de Tilff, o en construcción en Esneux) está asociada a menudo con otras obras, tales como la reconstrucción de caminos, la instalación de colectores o la protección de márgenes (en Tilff, por ejemplo). Estas construcciones son puntuales, afectando a tramos de río de longitud menor o igual a un kilómetro como máximo. No hay ninguna política conjunta al respecto. En general, estos muros aseguran una protección hasta el nivel de la crecida decenal. En Esneux, se están construyendo actualmente 1200 metros de este tipo de muro (500 m en margen derecha y 700 m en margen izquierda), con un coste estimado de 6,2 millones de euros, sin incluir la estación de bombeo situada aguas abajo (PV Com Cons Ourthe, 09-93).

❖ *Los dragados*

Parece que esta técnica se aplica desde hace mucho tiempo, pero sin una política global. A diferencia de otros países, como Francia, aquí la Administración paga por quitar los sedimentos.

- Métodos convencionales
- Métodos de dragado más ecológicos

La ecología de un río como el Ourthe está estrechamente ligada con la gran diversidad de facies geomorfológicas y de hábitats acuáticos asociados, conformados por la interacción entre el sustrato geológico, por la relación pendiente-anchura del curso y por la hidrología del sistema. Esta diversidad de hábitats y de micro-hábitats físicos garantiza las posibilidades de vida y de reproducción de un gran número de especies animales, especialmente de una comunidad de peces en la que predominan las especies de agua fluyente que efectúan sus puestas en los fondos de gravas bien filtradas por el agua. Estas exigencias ecológicas de los peces del Ourthe se han definido y

Un autre projet a vu le jour qui prévoyait l'implantation d'un voire plusieurs barrages écrêteurs plus importants sur l'Ourthe moyenne ou/et sur l'Amblève, afin d'assurer ou d'améliorer la protection de l'Ourthe inférieure contre les inondations. Un premier site avait été retenu en Famenne (capacité du bassin 11,8 - 14,8 Mm³). Ici aussi il s'agissait d'un barrage dit vert; selon les différentes options, la hauteur des digues aurait été de 10 à 14 m, sur une largeur de 535 m, avec une superficie noyée atteignant 2,9 km² sur une longueur de 6 km. Le coût de cet ouvrage était évalué à 11,16 Meuros minimum (en 1994).

❖ *L'édification de murs anticrues*

L'édification de murets anticrues (exemple de Tilff ou en construction à Esneux) est souvent associée à d'autres travaux, tels que la réfection de chemins ou l'installation de collecteurs ou encore de protections de berges (à Tilff, par exemple). Ces constructions sont ponctuelles, affectant des linéaires de rivière inférieurs ou voisins du kilomètre maximum. Il n'y a aucune politique d'ensemble. En général, de tels murs assurent une protection jusqu'à la crue décennale. A Esneux, 1200 mètres de murs sont en cours d'édification (500 m en rive droite et 700 m en rive gauche), pour un montant estimé à 6,2 Meuros, sans compter la station de pompage située en aval (PV Com Cons Ourthe, 09-93).

❖ *Les dragages*

Cette technique est appliquée depuis longtemps semble-t-il, mais sans politique d'ensemble. A la différence d'autres pays tels que la France, ici l'Administration paye pour que l'on enlève les sédiments.

- Méthodes conventionnelles
- Méthode de dragages plus écologiques

L'écologie d'une rivière comme l'Ourthe est étroitement dépendante de la grande diversité des faciès géomorphologiques et des habitats aquatiques associés, façonnés par l'interaction entre le substratum géologique, la pente-largeur du cours et l'hydrologie du système. Cette diversité d'habitats et micro-habitats physiques garantit les possibilités de vie et de reproduction d'un grand nombre d'espèces animales et spécialement d'une communauté de poissons où dominent les espèces d'eau courante et qui pondent dans ou sur les fonds de graviers bien percolés par l'eau. Ces exigences écologiques des poissons de l'Ourthe ont été définies et quantifiées lors d'un ensemble

many studies carried out since the 1970s (Philippart *et al.*, 1994).

An important aspect of the flood control in the Ourthe and the Amblève consists of regular dredging of short river reaches in order to remove gravel accumulated after floods and, sometimes, to recalibrate and deepen sections which cross villages. Philippart *et al.* (1994) and Baras *et al.* (1996) have studied, in the framework of the management of the navigable sections of the Ourthe, the potential effect of such dredging on the availability of spawning and nursery grounds for fish. They also have evaluated the capacity of the river to receive young of the year fish in habitats composed of gravel bars. The study was carried out on a 10 km long stretch of the Ourthe between Esneux and Méry. Firstly, the study evidenced and quantified the abundance and biomass of young of the year fish in the different micro-habitats associated with a large median gravel bed. This reference database has been used to evaluate the capacity of this reach to tolerate dredging/reprofiling works of a increasing intensity which generate more and more artificial cross-sections, as illustrated by Figure 21. The shift from an asymmetrical cross-sectional profile [with a median bar] to a deep channel profile would generate a decrease, close to 99% (from 110,000 to 750 per 100 m of river) of the young fish population in Summer.

This preliminary study has led to two types of conclusions and recommendations:

- Gravel bars progressively filled by fine sediments are colonised by vegetation and loose their value as spawning grounds for fish laying their eggs on and in gravel beds. The regular scraping of these gravel bars should not therefore constitute a great danger to aquatic fauna, as long as is maintained a water depth of 20-30 cm at low discharge as well as smooth slopes. In some cases the removal of stabilised gravel deposits can improve the reproduction and nursery habitats.
- It is absolutely imperative to maintain high discharges which are able to move the gravel bars and thus to flush fine particles, making these gravel deposits available to fish reproduction.

The ecological management of gravel deposits still focus the attention of scientists, as it assumes major importance in a man-influenced river such as the Ourthe. The goal is to define anti-flooding dredging practices which fit with the preservation of ecological aquatic functions (notably the self purification capacity) and the maintenance and restoration of abundant fish populations (Figure 22).

cuantificado en un cierto número de estudios ecológicos realizados desde el año 1970 (Philippart *et al.*, 1994).

Ahora bien, un aspecto importante de la lucha contra las inundaciones en el Ourthe y el Amblève consiste en dragar con regularidad algunos tramos de río, con objeto de eliminar los depósitos de gravas acumulados tras las crecidas y, en algunos casos, reperfilar y profundizar algunas zonas en la travesía de poblaciones. Philippart *et al.* (1994) y Baras *et al.* (1996) han llevado a cabo un estudio, por encargo de los gestores de la parte navegable del Ourthe, para intentar evaluar la incidencia potencial de dichos dragados en la disponibilidad de zonas de freza y de cría y en la capacidad del río para acoger a los alevines cuyo hábitat está constituido por el borde de los bancos de grava. El estudio se ha realizado en un tramo del Ourthe, de unos 10 km de longitud, entre las localidades de Esneux y Méry. En una primera fase, el estudio ha puesto en evidencia y ha cuantificado la abundancia y la biomasa de alevines en los diferentes micro-hábitats asociados con un gran banco de gravas central. Con estos datos de partida, se ha evaluado la capacidad de acogida de este tramo de río ante actuaciones de dragado-reperfilado de intensidad creciente y generadores de perfiles transversales cada vez más artificiales, como se indica en la Figura 21. El paso de un perfil transversal asimétrico, con una zona central elevada, a un perfil de cauce profundo acarrearía una disminución de cerca del 99% de la población estival de alevines (de 110.000 a 750 por cada 100 m de río).

Este estudio ha llegado a dos tipos de conclusiones y recomendaciones:

- Los bancos de grava que son progresivamente colmatados por finos y colonizados por vegetación pierden todo valor como frezadero para los peces que efectúan sus puestas sobre las graveras o en sus huecos. El escarificado regular de estos bancos de grava no debería constituir un gran peligro para la fauna acuática, siempre que se mantenga una pendiente suave y un calado mínimo de 20-30 cm en estiaje. En algunos casos, parece que la eliminación de depósitos de grava estabilizados puede favorecer una cierta regeneración de los hábitats de reproducción y de cría.
- Es absolutamente indispensable mantener en el río crecidas que pudiéramos denominar morfogénicas, capaces de movilizar los sustratos colmatados, eliminando de ellos los finos y reconvirtiendo así los depósitos de grava en utilizables para la reproducción de los peces, por lo menos durante algún tiempo.

d'études écologiques réalisées depuis les années 1970 (Philippart *et al.*, 1994).

Or, un aspect important de la lutte contre les inondations dans l'Ourthe et l'Amblève consiste à draguer régulièrement certains tronçons de rivière afin d'enlever les dépôts de gravier accumulés après les crues et, dans certains cas, à recalibrer et à approfondir des secteurs qui traversent des agglomérations. Philippart *et al.* (1994) et Baras *et al.* (1996) ont entrepris, à la demande des gestionnaires de la partie navigable de l'Ourthe, une étude pour tenter d'évaluer l'incidence potentielle de tels dragages sur la disponibilité des zones de frayère et de nurserie et sur la capacité d'accueil de la rivière pour les jeunes poissons de l'année dont l'habitat est constitué par la bordure des bancs de gravier et de cailloux. L'étude a été réalisée dans un bief de l'Ourthe long d'une dizaine de km entre les localités d'Esneux et de Méry. Dans un premier temps, l'étude a mis en évidence et quantifié l'abondance et la biomasse des alevins de l'année dans les différents micro-habitats associés à un grand banc de gravier central. Sur cette base référentielle, on a évalué la capacité d'accueil de ce tronçon de rivière pour des aménagements de dragage-reprofilage d'intensité croissante et générateurs de profils en travers de plus en plus artificiels illustrés par la Figure 21. Le passage d'un profil transversal asymétrique avec haut-fond central à un profil de chenal profond devrait entraîner une diminution de près de 99% (de 110.000 à 750/100 m de rivière) de la population estivale d'alevins.

Cette étude préliminaire a débouché sur deux types de conclusions et recommandations:

- Les bancs de graviers progressivement colmatés par les fines et colonisés par la végétation perdent toute valeur comme frayère pour les poissons pondéurs sur et dans les graviers. Le rabotage régulier de ces bancs de graviers ne devrait donc pas constituer un grand danger pour la faune aquatique, à condition que l'on maintienne une profondeur sous eau de 20-30 cm à l'étiage ainsi que des pentes douces. Dans certains cas, il semble que l'enlèvement des dépôts de gravier stabilisés puisse favoriser une certaine régénération des habitats de reproduction et de nurserie.
- Il est absolument indispensable de maintenir dans la rivière des crues morphogènes qui sont capables de remobiliser les substrats colmatés et d'en éliminer les fines, rendant ainsi pour quelques temps les dépôts de gravier utilisables pour la reproduction des poissons.

❖ *Discharge improvement: movable dams*

Movable dams are aimed at replacing old navigation weirs: they are built in touristic centers because it allows for the maintenance of an impoundment, principally with a touristic goal, but sometimes for 'dilution' purposes of sewage water poured into the river. During high discharges these dams are folded up or down in such a way that they no longer form an obstacle to the flow, thus limiting floods. Such dams were installed at Tilff, Colonster and Angleur, at the turn of the 1980s. Another was planned at Esneux but the idea was abandoned, given the high cost of such work (of about 2.50 Meuros) (PV of Com. Cons. Ourthe).

❖ *Alarm system*

An alarm and forecasting mechanism during floods events has been set up by the MET-SETHY, throughout the Walloon territory. Its goal is to warn local authorities and riverside inhabitants in order that they might protect themselves against rising waters. The SETHY has produced a synthesis about the existing device on the Ourthe: WaCONDAH (Water Control Data system for Hydrology and water management) is a real-time integrated system, for the acquisition of hydrological data in order to provide aid to the management of waterways as well as informations and forecasts in the case of significant flooding.

This system integrates information arising from a telemetric network which, in 1992, comprised 8 telelimnigraphs and 5 telepluviographs for the whole of the Ourthe basin (PV/MET-SMETHY, 1992).

The system detects high discharge events and risks of harmful floods. Then it induces the following mechanisms:

Continúan las investigaciones en relación con el problema de la gestión ecológica de los depósitos de grava, que reviste una gran importancia en un río semi-antrópico como el Ourthe. Se trata de definir las prácticas de dragado anti-inundación que sean compatibles con el mantenimiento de los equilibrios y funciones ecológicas acuáticas (principalmente la capacidad de autodepuración) y el mantenimiento, incluso la restauración, de una abundante población de peces (Figura 22).

❖ *Mejora del flujo: las presas móviles*

Las presas móviles tratan de reemplazar las antiguas presas para la navegación; se prefiere mantener una presa, ya que, en las zonas de concentración turística, permite mantener una superficie de agua, fundamentalmente con una finalidad turística, aunque también con la de garantizar una "dilución" de las aguas residuales vertidas al río. En períodos de aguas altas, estas presas se sumergen o se elevan, según el tipo de aparatos, de manera que no constituyen obstáculo al flujo (o reducen su influencia), lo cual permite limitar los desbordamientos. A finales de los años setenta y principios de los ochenta, se han instalado presas de este tipo, principalmente en Barvaux, en Tilff, Colonster y Angleur. Estaba previsto instalar una en Esneux, pero este proyecto ha sido abandonado, dado su elevado coste (del orden de 2,50 millones de euros) (PV de la Com Cons Ourthe).

❖ *Sistema de alarma*

El MET-SETHY ha puesto en marcha un dispositivo de previsión y alerta ante inundaciones en el conjunto del territorio valón. Su objetivo es prevenir a las autoridades locales y a los ribereños con objeto de que tomen las medidas oportunas ante el ascenso de las aguas. El SETHY ha elaborado una nota de síntesis relativa al dispositivo existente en el Ourthe: WACONDAH (Water Control Data system for Hydrology and water management) es un sistema integrado en tiempo real de toma de datos hidrológicos, capaz de servir de ayuda a la gestión de las vías hidráulicas y capaz de proporcionar informaciones y previsiones en caso de crecidas importantes.

Este sistema integra principalmente las informaciones provenientes de una red de telemidas, la cual, en 1992, estaba constituida por 8 tele-limnigramas y 5 tele-pluviógrafos para el conjunto de la cuenca del Ourthe (PV/MET-SETHY, 1992).

Les recherches se poursuivent sur ce problème de la gestion écologique des dépôts de gravier qui revêt une importance majeure dans une rivière semi-anthropisée comme l'Ourthe. Il s'agit de définir des pratiques de dragage anti-inondation qui soient conciliables avec la préservation des équilibres et fonctions écologiques aquatiques (notamment la capacité d'auto-épuration) et le maintien, voire la restauration, d'un abondant peuplement de poissons (Figure 22).

❖ *L'amélioration de l'écoulement: les barrages mobiles*

Les barrages mobiles visent à remplacer les anciens barrages de navigation; on préfère garder un barrage car, dans les agglomérations touristiques, il permet de maintenir un plan d'eau, principalement dans un but touristique mais aussi afin de garantir une "dilution" des eaux usées rejetées dans la rivière. En période de hautes eaux, ces barrages sont couchés ou levés selon le type d'appareils, de telle façon qu'ils ne fassent plus obstacle à l'écoulement (ou moins), ce qui permet de limiter les débordements. De tels barrages ont été installés notamment à Barvaux, à Tilff, Colonster et Angleur, à la fin des années septante début des années quatre-vingt. Il était prévu d'en installer un à Esneux mais ce projet a été abandonné, étant donné le coût élevé de ce type d'ouvrage (de l'ordre de 2,5 Meuros) (PV de la Com. Cons. Ourthe).

❖ *Système d'alarme*

Un dispositif de prévision et d'alerte lors des inondations a été mis en place par le MET-SETHY, sur l'ensemble du territoire wallon. Son but est de prévenir les autorités locales et les riverains afin de se prémunir contre la montée des eaux. Le SETHY a remis une note de synthèse relative au dispositif qui existe déjà sur l'Ourthe: WACONDAH (Water Control Data system for Hydrology and water management) est un système intégré en temps réel, d'acquisition de données hydrologiques en vue d'apporter une aide à la gestion des Voies hydrauliques ainsi que des informations et des prévisions en cas de crues importantes.

Ce système intègre notamment les informations provenant d'un réseau de télémesures qui, en 1992, comprenait huit télélimnigraphes et cinq télépluviographes pour l'ensemble du bassin de l'Ourthe (PV/MET-SETHY, 1992).

Le fonctionnement en période de hautes eaux, après détection d'un risque de crues importantes et surtout d'inondations dommageables, implique les dispositions suivantes:

- alarm signal spread to public concerned authorities
- the organisation of an operational office equipped with appropriate visualisation and communication means;
- the organisation of the co-operation with analogous departments in France, Holland and Flanders,
- specific instructions to hydrographical field teams, mainly to supervise the measuring stations and to carry out stream gauging;
- the spreading of bulletins describing the evolution of the situation and forecasting, from rainfall quantities, the behaviour of selected hydrographical basins upstream, compared with previous floods.

System development perspectives deal with the following aspects:

- improvement of telemetry network, by increasing the number of field stations;
- shortening the alert time by an extension of alarm mechanisms relating to precipitation and water level (gradient detection alarms, use of meteorological radar):
- improvement in the spreading of information to municipalities;

This system has worked efficiently since the flood of January 1995.

❖ *Banning construction in flooding areas*

In the framework of municipal development plans (cf. section 2.1), the physical constraints inherent to the municipal territory must be translated into regulations. As reported by Michel (1994) in the only regulation set up until now in another basin (Braives municipality in the Meuse basin) building houses in flooding areas is strongly discouraged. It has been recommended that the flooding areas should be devoted to permanent meadow land; the reconversion into a forest area and therefore the plantation of poplars in the non cultivable areas is equally allowed.

In april 1993 the Walloon government decided to proceed with the total revision of a number of various landuse plans. The experience of the last 15 years shows that the management of flooding areas (such as defined by Art.183, cf. section 2.1) have partly failed because the three following reasons (Michel, 1994):

El funcionamiento en período de aguas altas, tras la detección de un riesgo de crecidas importantes y sobre todo de inundaciones con daños, implica las siguientes actuaciones:

- difusión de un mensaje de alarma a las autoridades responsables;
- organización de un operativo equipado con medios de visualización y comunicación apropiados;
- organización de la cooperación con los servicios análogos de la Región Flamenca, de Francia y de Holanda;
- envío de instrucciones particulares a los equipos hidrográficos in situ, principalmente para controlar las estaciones de medida y efectuar los aforos;
- difusión de boletines sobre la evolución de la situación y sobre las previsiones, establecidas a partir de las precipitaciones, del comportamiento de las cuencas hidrográficas representativas de aguas arriba y de la comparación con crecidas históricas.

Las perspectivas de mejora de este sistema se centran en los puntos siguientes:

- mejora de la red de telemedidas, aumentando el número de puntos;
- reducción del tiempo de alerta, mediante una extensión de dispositivos de alarma relativos a las precipitaciones y a los niveles de agua (alarmas de gradiente, utilización de radar meteorológico);
- mejora de la difusión de las informaciones a los municipios.

Este sistema ha funcionado de manera eficaz durante la crecida de enero de 1995.

❖ *Prohibición de construir en zonas inundables*

En el esquema de estructura municipal (ver apartado 2.1), las limitaciones físicas inherentes al territorio municipal deben traducirse a prescripciones. Como indica Michel (1994), en el único esquema elaborado hasta el momento (Municipio de Braives en el Meuse), se desaconseja vehementemente la construcción en zonas inundables. Se recomienda destinarlas a prados permanentes; se admite igualmente su reconversión en zona forestal, con plantación de álamos en las zonas no cultivables.

En abril de 1993, el Gobierno Valón ha decidido proceder a la revisión total de un cierto número de planes de sector. La experiencia de los quince últimos años muestra que la gestión de las zonas inundables (definidas en el artículo 183, ver apartado 2.1) no ha respondido a lo esperado, debido a tres razones (Michel, 1994):

- las prescripciones del citado Artículo no son suficientemente precisas;

- message d'alarme diffusé aux autorités responsables;
- organisation d'une permanence opérationnelle équipée de moyens de visualisation et de communication appropriés;
- organisation de la coopération avec les services analogues de la Région flamande, de France et des Pays-Bas;
- instructions particulières aux équipes hydrographiques de terrain, notamment pour contrôler les stations de mesures et effectuer des jaugeages;
- diffusion de bulletins fournissant l'évolution de la situation et des prévisions établies à partir des précipitations, du comportement des bassins hydrographiques représentatifs d'amont, de comparaison avec des crues historiques.

Les perspectives de développement du système portent sur les points suivants:

- amélioration du réseau de télémessures, par augmentation des postes;
- raccourcissement du temps de mise en alerte par une extension des dispositifs d'alarme relatifs aux précipitations et aux hauteurs d'eau (détection d'alarmes de gradient, utilisation de radar météorologique);
- amélioration de la diffusion des informations aux communes;

Ce système a fonctionné de façon efficace lors de la crue de janvier 1995.

❖ *Interdiction de construire en zones inondables*

Dans le schéma de structure communal (cf. point 2.1.), les contraintes physiques inhérentes au territoire communal doivent être traduites en termes de prescriptions. Comme le rapporte Michel (1994) dans le seul schéma élaboré jusqu'à présent (Commune de Braives sur la Meuse), les zones inondables sont fortement déconseillées à la construction. Il est recommandé de destiner ces zones inondables à des prairies permanentes; la reconversion en zone forestière et donc la plantation de peupliers dans les zones non cultivables est également admise.

En avril 1993, le Gouvernement wallon a décidé de procéder à la révision total d'un certain nombre de plan de secteurs. L'expérience des quinze dernières années montre que la gestion des zones inondables (telles que définies à l'article 183, cf. point 2.1.) n'a pas répondu à l'attente générale pour trois raisons (Michel, 1994):

- the prescriptions of this Article are not precise enough;
- the described limits of the flooding areas do not correspond to the real situation;
- the relevant authorities showed free-and-easy attitude in delivering permission to build and did not use the dispositions of Article 183.7.5, nor the principle of good local development.

The next revision of landuse plans need studies to refine knowledge of existing situations, in order to delimit more precisely the flooding areas. Several questions remain to be asked, nevertheless, concerning the criteria used to define the limits of the flooding areas and related regulations. Michel (1994) has summarised them in the following way:

- Which flood is to be used as reference in order to delimit the flooding areas (decennial, hundred yearly, exceptional)?
- Should one take into account flash floods?
- Should it be rational to consider the whole floodplain (more easy to define) as a flooded area for 100 year discharge?
- Should the flooding areas be classed as unbuildable?
- Should prescriptions be concerned only with residential areas? Moreover, should areas devoted to be flooded be defined, thus forming storage zones?

Michel (1994) concluded that the response to these questions leads to strong development choices to be approved by the Walloon government. The choices made in the final revision of landuse plans will not be without consequences for owners who could find their territory recorded within flooding areas and for the Walloon Region which could be obliged to compensate these owners.

■ To restore the rivers

❖ Legal protection of aquatic species

Legal protection of certain aquatic species is provided for fish and crayfish through the Angling legislation and, for plants and animals other than fish and crayfish, through the Nature Conservation legislation. In addition the Angling legislation organises the protection of exploited species in fixing maximum catch sizes and authorised times and places.

- los límites de las zonas inundables no corresponden a la situación de hecho;
- las autoridades competentes han mostrado una cierta laxitud al otorgar los permisos de construcción y no han explotado a sabiendas las disposiciones del artículo 183.7.5 y el principio de buena ordenación local.

Con motivo de la próxima revisión de los planes de sector, se podrá afinar el estudio de la situación existente de hecho, con objeto de precisar los límites de las zonas inundables. Quedan, sin embargo, cuestiones pendientes, relativas a los criterios de delimitación de zonas inundables y a las prescripciones aplicables en ellas. MICHEL (1994) las ha resumido de la siguiente forma:

- ¿Qué crecida se debe tomar como referencia para delimitar las zonas inundables de los grandes ríos (decenal, centenaria, excepcional)?
- ¿Es preciso tener en cuenta las crecidas de desbordamiento torrencial?
- ¿Es razonable considerar la totalidad del lecho mayor (cuyos límites son más fáciles de establecer) como zona inundable para la crecida centenaria?
- ¿Es preciso definir las zonas inundables como zonas no-edificables?
- ¿Deberían referirse las prescripciones a las zonas residenciales o habría que definir además zonas destinadas a ser inundadas, constituyendo así estanques de laminación?

Como destaca Michel (1994) en las conclusiones de su análisis, la respuesta a estas cuestiones implica que el Gobierno Valón adopte opciones importantes en lo que se refiere a ordenación del territorio. Los criterios aplicables a la revisión total de los planes de sector tendrán consecuencias importantes para los propietarios cuyos terrenos puedan quedar inscritos en zona con prohibición de construcción y para la Región Valona, que podría verse obligada a indemnizar a dichos propietarios.

■ Para restaurar los ríos

❖ Protección legal de especies acuáticas

La protección legal absoluta de algunas especies acuáticas está asegurada mediante disposiciones de la Ley de pesca fluvial para los peces y el cangrejo (prohibición de capturar ciertas especies) y mediante la ley de Conservación de la Naturaleza para las plantas y el resto de los animales. Además, la ley de pesca fluvial organiza la protección de las especies

- les prescriptions de l'Article en question ne sont pas assez précises;
- les limites des zones inundables ne correspondent pas à la situation existante de fait;
- les autorités compétentes ont fait preuve d'un certain laxisme dans la délivrance de permis de bâtir et n'ont pas exploité à bon escient les dispositions de l'article 183.7.5 et le principe de bon aménagement local.

Lors de la prochaine révision des plans de secteurs, il y aura lieu d'affiner l'étude de la situation existante de fait, pour préciser les limites des zones inundables. Des questions restent néanmoins posées concernant les critères de délimitation des zones inundables et les prescriptions y afférentes. Michel (1994) les a résumées de la façon suivante:

- Quelle crue prendre en référence pour délimiter les zones inundables des grandes rivières (décennale, centennale, exceptionnelles)?
- Faut-il prendre en compte les crues de débordement torrenciel?
- Est-il raisonnable de considérer l'entièreté du lit majeur (dont les limites sont plus simples à circonscrire) comme zone inondable pour une crue centennale?
- Faut-il définir les zones inundables comme inconstructibles?
- Les prescriptions doivent-elles concerner uniquement les zones d'habitat et ne faudrait-il pas définir en plus des zones destinées à être inondées, formant ainsi des bassins d'épargne?

Comme le note Michel (1994) en conclusion de son analyse, la réponse à ces questions impliquent que des options fortes d'aménagement soient approuvées par le Gouvernement wallon. Les options retenues pour la révision totale des plans de secteur ne seront pas sans conséquences pour les propriétaires dont les terrains pourraient être inscrits en zone inconstructible et pour la Région wallonne qui pourrait être obligée de verser des indemnités à ces propriétaires.

■ Pour restaurer les rivières

❖ Protection légale d'espèces aquatiques

La protection légale absolue de certaines espèces aquatiques est assurée à travers des dispositions de la Loi sur la pêche fluviale pour les poissons et l'écrevisse (interdiction de capture de certaines espèces) et à travers la loi sur la Conservation de la Nature pour les plantes et les animaux autres que les poissons et l'écrevisse. De plus, la loi sur la pêche flu-

❖ *Regular stocking of fish by fishing associations*

One part of the money raised by the sale of recreational fishing permits feeds a special fund, the Angling Fund, through which public water fishing associations arrange, in accordance with the fishery administration, the restocking of these waters by diverse fish species. These fish are bought from private fish farms or are produced by public fish breeding centres.

❖ *Demographic rehabilitation programme for migratory salmonids*

The demographic rehabilitation programme for migratory salmonids (atlantic salmon and sea trout) in the Ourthe basin is a part of the programme 'Meuse Saumon 2000' (Philippart *et al.*, 1994). It deals with two types of action. The first action is the building by the MET (Ministry of Equipment and Transport) of fishways in two dams on the Belgian Meuse and one in the Angleur dam in the lower Ourthe, in order to make the Ourthe-Amblève basin accessible by 2002. The second action is stocking rivers with young salmon of foreign origins (France, Ireland, Scotland) raised in a fish breeding centre run by the Administration of Natural Resources and the Environment.

❖ *Plan to re-establish free fish migration in the basin*

This plan must be carried out through the application of a Benelux Directive of April 1996. It currently implies the making of inventories and the listing of present physical obstacles found in non-navigable water courses. Based on this, priority operations to be carried out should be arranged and budgeted for.

❖ *Localised operations*

At the request of Angling Associations, small local operations to reconstruct aquatic habitats, notably the deepening of backwaters, are carried out by the MET.

explotadas mediante el establecimiento de tamaños mínimos de captura, así como de los lugares y periodos autorizados para la pesca.

❖ *Repoblaciones regulares de peces a cargo de las agrupaciones de pescadores*

Una parte de los ingresos procedentes de la venta de licencias de pesca recreativa pasa a constituir un fondo especial, el Fondo piscícola, a través del cual, las agrupaciones de pescadores en aguas públicas organizan, en conexión con la Administración encargada de la gestión de la pesca, la repoblación de dichas aguas mediante diversas especies de peces. Estos peces son comprados en piscifactorías privadas o producidos en instalaciones públicas.

❖ *Programa de rehabilitación demográfica de los salmónidos migratorios*

El programa de rehabilitación demográfica de los salmónidos migratorios (salmón atlántico y trucha de mar) en la cuenca del Ourthe se enmarca en el programa global 'Meuse Saumon 2000' (Philippart *et al.*, 1994). Se basa en dos tipos de actuaciones: por una parte, la construcción por parte del MET (Ministerio de Equipamiento y Transportes) de pasos migratorios en dos presas del tramo belga del Mosa y en la presa de Angleur en el bajo Ourthe, con objeto de garantizar la accesibilidad de la cuenca Ourthe-Amblève para el año 2002 y, por otra parte, la realización de repoblaciones con alevines de origen extranjero (Francia, Irlanda, Escocia) criados en una instalación piscícola de la Administración de Recursos naturales y del Medio Ambiente.

❖ *Plan de restablecimiento de la libre circulación de peces en la cuenca*

Este plan, cuya ejecución viene impuesta por la aplicación de una Directiva Benelux de abril de 1996, se encuentra actualmente en fase de inventario y de caracterización de los obstáculos físicos existentes en los cursos de agua no navegables. A partir de este estudio, se deberían planificar y presupuestar las actuaciones prioritarias a realizar.

❖ *Actuaciones locales*

El organismo gestor de los cursos de agua navegables ha llevado a cabo, a petición de las organizaciones de pescadores, pequeñas actuaciones de carácter local de reconstrucción de hábitats acuáticos, principalmente la recuperación de brazos abandonados del Ourthe.

viale organise la protection des espèces exploitées en fixant des tailles minimales de capture et des lieux et périodes où les captures sont autorisées.

❖ *Repeuplements réguliers en poissons par les groupements de pêcheurs*

Une partie de l'argent provenant de la vente des permis de pêche récréative alimente un fond spécial, le Fonds piscicole, à travers lequel les groupements de pêcheurs en eaux publiques organisent, en liaison avec l'Administration gestionnaire de la pêche, le repeuplement de ces eaux au moyen de diverses espèces de poissons. Ces poissons sont acquis auprès de pisciculteurs privées ou sont produits par des stations piscicoles publiques.

❖ *Programme de réhabilitation démographique des salmonidés migrants*

Le programme de réhabilitation démographique des salmonidés migrants (saumon atlantique et truite de mer) dans le bassin de l'Ourthe s'inscrit dans le programme global 'Meuse Saumon 2000' (Philippart *et al.*, 1994). Il repose sur deux types d'actions: d'une part, la construction par le MET (Ministère de l'Équipement et des Transports) de passes migratoires sur 2 barrages de la Meuse belge et sur le barrage d'Angleur en basse Ourthe afin de rendre le bassin Ourthe-Amblève accessible pour 2002 et, d'autre part, la réalisation de déversements de jeunes saumons d'origine étrangère (France, Irlande, Écosse) élevés dans une station piscicole de l'Administration des Ressources naturelles et de l'Environnement.

❖ *Plan de rétablissement de la libre circulation des poissons dans le bassin*

Ce plan, qui doit être exécuté en application d'une Directive Benelux d'avril 1996, se limite actuellement à une phase d'inventaire et de caractérisation des obstacles physiques présents sur les cours d'eau non navigables. Sur la base de cette étude, devraient être planifiées et budgétisées des actions prioritaires à réaliser.

❖ *Actions locales*

De petites actions locales de reconstruction d'habitats aquatiques, notamment le recréusement de bras morts de l'Ourthe, sont réalisées, à la demande des organisations de pêcheurs, par le gestionnaire des cours d'eau navigables.

❖ Land acquisition

Humid zones of great biological interest are regularly bought to create natural reserves, by the administration of Natural Resources and the Environment, by private associations of Nature conservation or by the two in partnership.

All scheduling elements related to water problems in general are defined in the Sustainable Environmental Development Plan of the Walloon Region, produced in March 1994 by the Ministry of Natural Resources and the Environment.

3.2.3. MATERIALS USED IN STRUCTURAL ACTIONS

❖ for bank protection

- Concrete walls and stone rubble masonry walls are structures made of: (i) concrete slabs laid on banks profiled beforehand, (ii) regouted rubble masonry, (iii) rubble masonry (with open joints), filled with earth and seeded. To break up the monotony of rubble walls Verniers (1993) recommend the following structure: a wall interrupted by circular tubs with shrub-like plants and intermediate berms (completed at Barvaux for example). In other respects, at Esneux a vegetated berm has been built into the foot of the wall.
- Rip-raps are the riverbank protections through deposits on a levelled slope, with large blocks of limestone. For twenty years improvements have been brought about in techniques set up notably to ease the recolonisation of rip-rap tops by vegetation.
- Gabions are flexible forms of cladding made up of parallelepipedic baskets in wire netting, made solid one through the other by lashing and refilled either by rip-raps or by products from dredging (Verniers, 1993). They can be situated in sub-vertical walls or inclined walls. In the latter case they are often seeded.

The more recent protection techniques used are flexible blanket and sheet with nylon thread. Thus Verniers (1993) cites an example at Hotton. The turfing of nylon thread sheet, covered with earth beforehand, recreates the grassy beach with gentle slopes which existed before the strong erosion caused by the last floods (Figure 23). The foot of this bank is reinforced by strong rip-raps covered by pebbles which facilitate the recolonisation by semi-aquatic vegetation.

❖ Adquisición de terrenos

La Administración de Recursos naturales y del Medio Ambiente, las asociaciones privadas de conservación de la Naturaleza, o ambas conjuntamente, realizan con carácter regular la adquisición de zonas húmedas de gran interés biológico, con vistas a su constitución como reservas.

Todos los elementos de planificación relativos al problema del agua en general están definidos en el Proyecto de Plan de Medio Ambiente para el Desarrollo Sostenible en la Región Valona, elaborado en marzo de 1994 por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales.

3.2.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LAS ACTUACIONES ESTRUCTURALES

❖ Para la protección de márgenes

- Los revestimientos de hormigón y de mampostería colocada son obras compuestas bien por grandes losas de hormigón vertido sobre la margen previamente perfilada, bien por mampuestos rejuntados, o bien por mampuestos colocados con juntas abiertas, con un relleno de tierra y una siembra posterior. Para romper la monotonía de un revestimiento inclinado de mampostería, Verniers (1993) propone un revestimiento interrumpido por balsas en forma de rotonda, con plantaciones arbustivas y banquetas intermedias (caso de Barvaux, por ejemplo). Por otro lado, en Esneux, se ha dispuesto un reborde vegetalizado al pie del talud.
- Las escolleras son protecciones de márgenes constituidas por la colocación de grandes bloques de piedra caliza sobre un talud nivelado. Desde hace una veintena de años, las técnicas de puesta en obra han mejorado, tratando principalmente de favorecer la recolonización de la zona superior del talud por parte de la vegetación.
- Los gaviones son revestimientos flexibles constituidos por recintos paralelepípedicos, fabricados con tela metálica y solidarizados unos con otros mediante alambres, rellenos con escollera o con productos de dragado (Verniers, 1993). Pueden estar dispuestos como pared casi vertical o inclinada. En este último caso, se incluye a menudo su siembra con productos vegetales.

Recientemente, comienzan a utilizarse técnicas de protección con materiales flexibles y geotextiles. Así, Verniers (1993) cita un ejemplo de protección en Hotton. La plantación de cé-

❖ Acquisition de terrain

Des zones humides de grand intérêt biologique sont régulièrement acquises, en vue d'une mise en réserve, par l'administration des Ressources naturelles et de l'Environnement, par des associations privées de conservation de la Nature ou par les deux en partenariat.

Tous les éléments de planification relatifs au problème de l'eau en général sont définis dans le Projet de Plan d'Environnement pour le Développement Durable en Région wallonne, produit en mars 1994 par le Ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles.

3.2.3. MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES ACTIONS STRUCTURELLES

❖ Pour la protection de berges

- Les perrés en béton et les perrés moellonnés maçonnés sont des ouvrages composés soit de grandes dalles de béton coulées sur la berge préalablement profilée, soit de moellons rejointoyés, soit encore de moellons maçonnés à joints ouverts, rempli de terre et ensemencé. Pour briser la monotonie d'un perré incliné moellonné, Verniers (1993) propose un perré interrompu par des bacs en rotonde, avec des plantations arbustives et des banquettes intermédiaires (réalisation à Barvaux par exemple). Par ailleurs, à Esneux, une risberme végétalisée a été édifée en pied de mur.
- Les enrochements sont des protections de berges par dépôts sur un talus nivelé, de gros blocs de pierres essentiellement de blocs calcaires. Depuis une vingtaine d'années, des améliorations ont été apportées dans les techniques mises en œuvre, notamment pour favoriser la recolonisation du sommet des enrochements par la végétation.
- Les gabions sont des revêtements souples constitués de paniers parallélépipédiques en treillis métalliques, solidarisés les uns aux autres par des ligatures et remplis soit d'enrochements, soit de produits de dragage (Verniers, 1993). Ils peuvent être disposés en paroi subverticale ou en paroi inclinée. Dans ce dernier cas, ils sont souvent ensemencés.

Des techniques plus récentes de protection par matelas souple et par nappe en fils nylon, commencent également à être utilisées. Ainsi Verniers (1993) cite un exemple de protection à Hotton. L'engazonnement de la nappe en fils nylon, préalablement recouverte de terre, permet de recréer la plage

►► For dam building

Reservoir dams

The Gileppe dam is a gravity dam, initially built with rubble and lime mortar. Its heightening was carried out through rip-rapping on the initial dam which was heightened in concrete. The Eupen and Nisramont dams are gravity concrete dams. That of Butgenbach is multiple arch dam in concrete and the Robertville is gravity dam in concrete and masonry (MET-Department of hydraulic routes, 1968).

Mobile weirs

The infrastructures (piles and inverts) are of concrete, often covered with rubble; the gates are metallic.

Flood control dams

On the western Ourthe, envisaged dams should have been constituted by a dyke covered by grassed earth, on one side, and planted with shrubs, on the other side (GIREA, 1995). It was anticipated that the bottom gate would be a concrete tunnel and that the overflow weir would be made of concrete.

There is still no precise design guidelines for flood control dams on the Ourthe in Famenne and on the Amblève. They were likely to be dam-dykes as those planned on the western Ourthe (with a nucleus in rip-raps covered with grassed earth on one side and shrub plantations on the other) (MET - Dam Department, 1992).

ped en una capa de nylon, previamente recubierta de tierra, permite reconstruir en cierta medida el suave talud vegetal existente antes de las fuertes erosiones producidas durante las últimas crecidas (Figura 23). Esta capa vegetal se prolonga hacia abajo siguiendo la misma pendiente mediante un refuerzo constituido por una capa de escollera de gran tamaño recubierta con los cantos rodados procedentes del propio río, con objeto de favorecer su recolonización por parte de la vegetación semi-acuática.

►► Para la construcción de presas

Presas de embalse

La presa de la Gileppe es de gravedad, constituida inicialmente con mampostería y mortero de cal. Su recrecimiento se ha efectuado mediante escollera, estando constituido el núcleo central por la presa inicial, provista a su vez de un recrecimiento en hormigón. Las presas de Eupen y de Nisramont son presas de gravedad de hormigón. La de Butgenbach es una presa de hormigón, de bóvedas múltiples, y la de Robertville es una presa de gravedad de hormigón y mampostería (MET-Administración de vías hidráulicas, 1986).

Presas móviles

Las infraestructuras (pilas y solera) son de hormigón, recubierto a veces de mampostería; las compuertas son metálicas.

Presas para laminación de crecidas

En el Ourthe oriental, independientemente de su ubicación, las presas consideradas estaban constituidas por un dique recubierto en uno de sus paramentos por una capa de tierra cubierta de césped y con una plantación de arbustos en el otro paramento (GIREA, 1995). Estaba previsto que el desagüe inferior estuviese constituido por un túnel hormigonado y que el aliviadero superior de seguridad fuese de hormigón.

En lo que se refiere a los proyectos de presas para laminación de crecidas sobre el Ourthe, en Famenne, y sobre el Amblève, no existían todavía recomendaciones precisas; las soluciones se orientaban hacia presas-dique del mismo tipo que las previstas para el Ourthe oriental, con un núcleo de escollera recubierto de tierra con césped en un lado y con plantación de arbustos en el otro (MET - División de Presas, 1992).

gazonnée en pente douce qui existait avant les fortes érosions liées aux dernières crues (Figure 23). Cette plage se prolonge suivant la même pente par un renforcement en une couche d'enrochements de gros calibre recouverte d'une couche de graviers roulés de rivière, favorable à une recolonisation par la végétation semi-aquatique.

►► Pour l'édification des barrages

Barrages réservoirs

Le barrage de la Gileppe est un barrage poids, initialement constitué en maçonnerie de moellons et mortier de chaux. Son surhaussement a été effectué au moyen d'enrochement, le noyau central étant constitué par le barrage initial, lui-même pourvu d'un surhaussement en béton. Les barrages d'Eupen et de Nisramont sont des barrages poids en béton. Celui de Butgenbach est un barrage à voûtes multiples en béton et celui de Robertville un barrage poids en béton et maçonnerie (MET-Administration des voies hydrauliques, 1986).

Barrages mobiles

Les infrastructures (piles et radier) sont en béton, souvent recouvert de moellons; les vannes sont métalliques.

Barrages écreteurs

Sur l'Ourthe orientale, quels que soient les sites retenus, les barrages envisagés devaient être constitués d'une digue recouverte d'un côté de terre enherbée et de l'autre plantée d'arbustes (GIREA, 1995). Il était prévu que le pertuis inférieur soit un tunnel bétonné et le déversoir supérieur de sécurité soit constitué de béton.

En ce qui concerne les projets de barrages écreteurs sur l'Ourthe en Famenne et sur l'Amblève, il n'existait pas encore de recommandations précises; on s'orientait néanmoins vers des barrages-digues du même type que ceux prévus sur l'Ourthe orientale avec un noyau en enrochement recouvert de terre avec enherbage d'un côté et plantation d'arbustes de l'autre (MET - Division des Barrages, 1992).

3.2.4. WORKS DURING RECENT YEARS

The main works carried out over the last ten years are the following:

- Replacement of most old weirs by mobile dams (Colonster, Streupas, Tilff, Barvaux, etc.);
- Anti-flood protection by the building of walls most often associated with actions of water draining and pumping ("démergement") (Durbuy, Esneux, Tilff).
- Gravel bar dredging programs taking into account the preservation of aquatic fauna;
- In the lower Ourthe (reach of 30 km in length) the quantities dredged since 1955 have reached 250,000 m³. Given the average width of the river, it represented a theoretical general incision of about 18.5 cm. But this incision has been restricted to dredging sites because of the low bed-load movement. In the course managed by the MET all the material extracted since 1950 rises to 700,000 m³. But it is impossible to give a figure for the whole of the course because little archival material is available for the upper reach, in the non-navigable course (Figure 24). However Deroanne has estimated that about 10,000 m³ of sediment has been extracted from the Hoëgne in twenty years.
- The initiation in 1996 of a development programme for fish passes on the small dams in need of repair (completed on the Aisne)
- The filling in of several sections of the old Ourthe canal

3.3. ASPECTS OF THE PROJECTS

3.3.1. HOW THE RIVERS AND THEIR TERRITORIES ARE CONSIDERED

► Evolution of people's perceptions

After the last big floods an appreciable change in the public opinion has taken place. This can be summarised by three essential points: the evolution of the way the population

3.2.4. INTERVENCIONES DURANTE LOS ÚLTIMOS AÑOS

Las intervenciones llevadas a cabo durante los dos últimos decenios son las siguientes:

- Sustitución de las presas vertedero por presas móviles (Colonster, Grosses bates, Tilff, Barvaux, etc.).
- Realización de protecciones anti-crecida mediante construcción de muros, complementados por drenajes y bombeos (Durbuy, Esneux, Tilff).
- Realización de dragados de los aterramientos, teniendo en cuenta la protección de la fauna acuática.
- En el Ourthe inferior, en un tramo de una treintena de kilómetros de longitud, las cantidades dragadas desde 1955 ascienden a más de 250.000 m³, lo cual, dada la anchura media del río, representaría un descenso teórico medio del fondo de 18,5 cm. Debido a la velocidad de desplazamiento del material arrastrado por el fondo, esta incisión se ha limitado a las zonas de dragado. En lo que se refiere a la parte del curso del Ourthe gestionado por el MET, se puede estimar que el conjunto del material extraído desde 1950 asciende a más de 700.000 m³, pero es imposible adelantar una cifra para el conjunto del curso del río, ya que hay poca información disponible en la zona de aguas arriba gestionada por los organismos encargados de los cursos de agua no navegables (Figura 24). Sin embargo, Deroanne (1995) ha estimado en poco más de 10.000 m³ la cantidad de sedimentos extraída del Hoëgne en una veintena de años.
- La puesta en marcha, en 1996, de un programa de acondicionamiento de escalas de peces en las pequeñas presas necesitadas de reconstrucción (realización efectiva en el Aisne).
- La reconstrucción de antiguas pequeñas presas para navegación, principalmente para la realización de actividades deportivas.
- El relleno de numerosos tramos del antiguo canal del Ourthe.

3.3. ASPECTOS DE LOS PROYECTOS DE INTERVENCIÓN

3.3.1. CÓMO SE CONSIDERAN LOS RÍOS Y SU TERRITORIO

► Evolución de las mentalidades

Después de las últimas inundaciones catastróficas, se ha producido una evolución sensible, en la que cabe resaltar tres puntos esenciales: la evolución de las mentalidades de la pobla-

3.2.4. INTERVENTIONS AU COURS DES DERNIÈRES ANNÉES

Les principales interventions réalisées au cours des deux dernières décennies sont les suivantes:

- Remplacement des barrages déversoirs par des barrages mobiles (Colonster, Grosses bates, Tilff, Barvaux, etc.).
- Réalisation de protections anticrues par l'édification de murs, avec généralement une politique de démergement (Durbuy, Esneux, Tilff).
- Réalisation de dragages des atterrissements prenant en compte la préservation de la faune aquatique.
- Dans l'Ourthe inférieure (secteur long d'une trentaine de kilomètres), les quantités draguées depuis 1955 se montent à plus de 250.000 m³, ce qui, étant donné la largeur moyenne de la rivière, représenterait un abaissement théorique moyen général avoisinant 18,5 cm. En raison de la vitesse de déplacement de la charge de fond, cette incision est limitée aux sites de dragages. En ce qui concerne la partie du cours de l'Ourthe gérée par le MET, on peut estimer que l'ensemble du matériel extrait depuis 1950 se monte à plus de 700.000 m³ mais il est impossible d'avancer un chiffre pour l'ensemble du cours parce que peu d'archives sont disponibles dans la zone amont gérée par les cours d'eau non navigables (Figure 24). Toutefois, Deroanne (1995) a estimé qu'un peu plus de 10.000 m³ de sédiments ont été extraits de la Hoëgne en une vingtaine d'années.
- Le démarrage en 1996 d'un programme d'aménagement de passe à poissons sur les petits barrages nécessitant une réfection (réalisation effective sur l'Aisne).
- La réfection d'anciens petits barrages de navigation, notamment pour des raisons d'activités sportives.
- Le comblement de nombreux tronçons de l'ancien canal de l'Ourthe.

3.3. ASPECTS DES PROJETS D'INTERVENTION

3.3.1. COMMENT SONT CONSIDÉRÉS LES RIVIÈRES ET LEUR TERRITOIRE

► Evolution des mentalités

Après les derniers faits catastrophiques d'inondation, une évolution sensible s'est opérée. On peut la résumer en l'abordant sur trois points essentiels: l'évolution des mentalités au

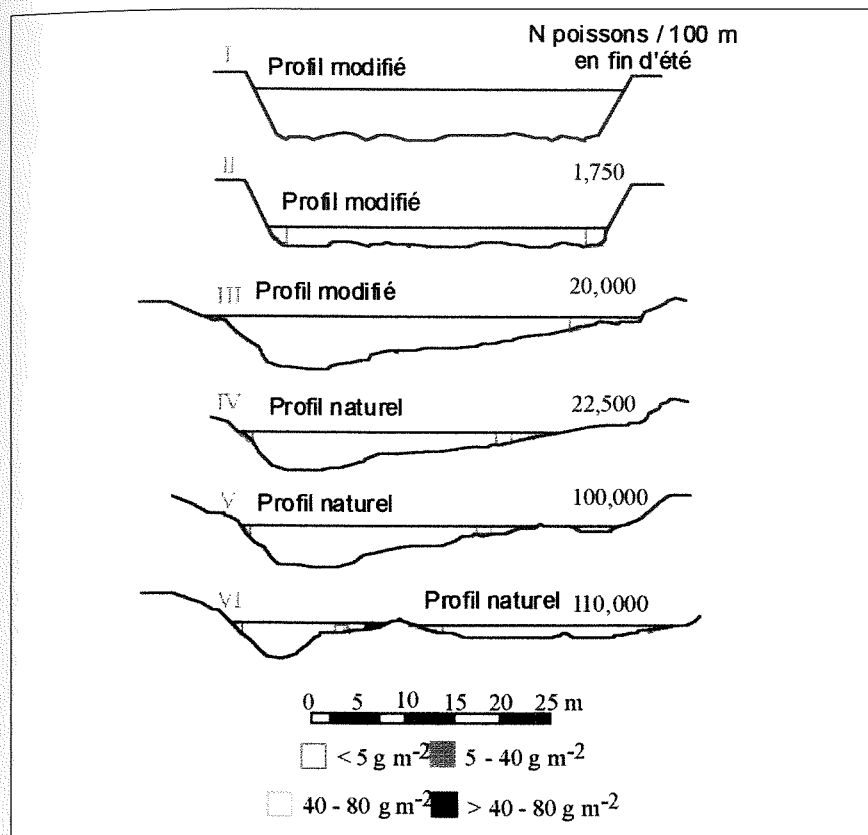


Figure 21. Cross-sectional estimates of the abundance of young fish (<45 mm)

Figura 21. Estimación de la abundancia de alevines de peces (<45 mm) según el perfil transversal

Figure 21. Estimation de l'abondance des jeunes poissons (<45 mm) selon le profil en travers

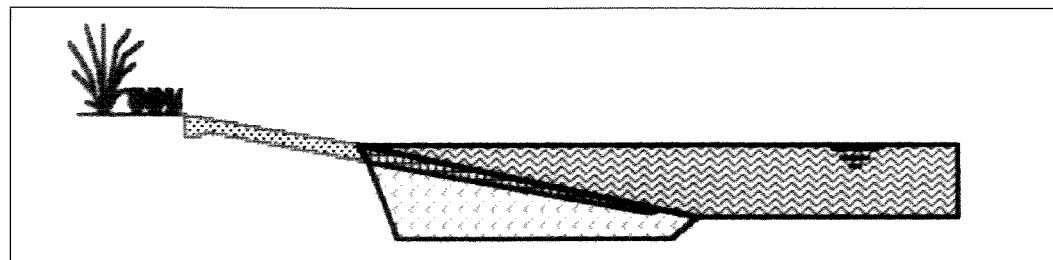


Figure 23. Technique of bank stabilisation with a gentle slope using vegetated geotextile and rip-raps at the foot of the bank (from Verniers, 1993)

Figura 23. Técnica de estabilización de márgenes con pendiente suave mediante geotextiles vegetalizados y escollera de pie (según Verniers, 1993)

Figure 23. Technique de stabilisation d'une berge en pente douce au moyen de géotextile végétalisé et d'enrochement en pied de berge (d'après Verniers, 1993)

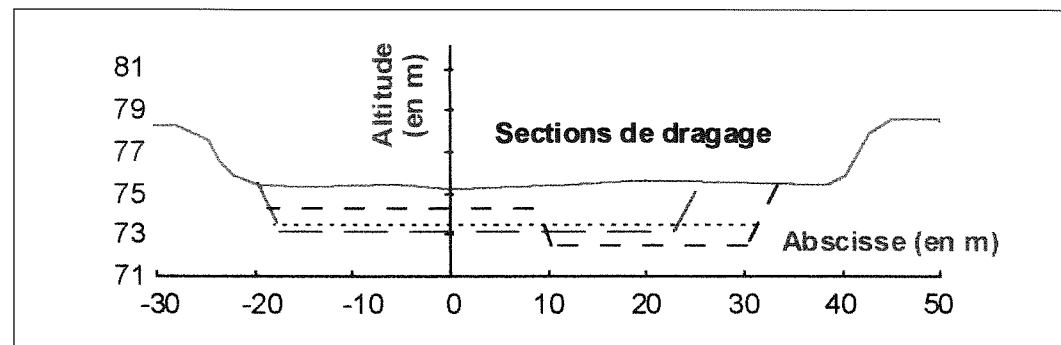


Figure 22. Cross - section of ecological dredging

Figura 22. Sección de dragado ecológico

Figure 22. Section de dragage écologique

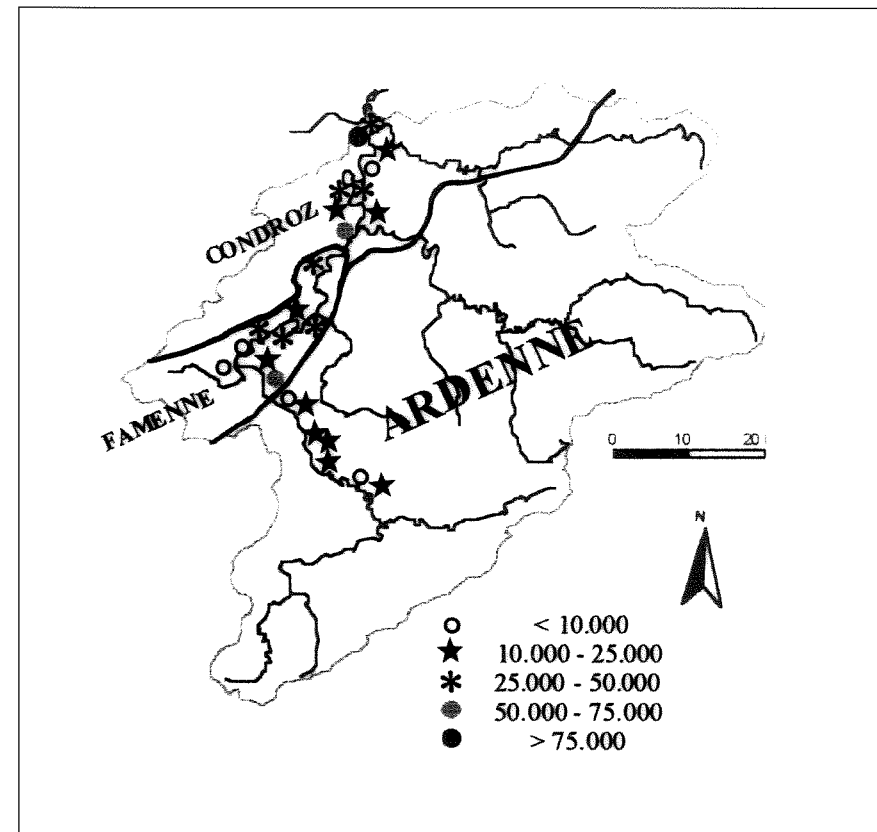


Figure 24. The volume of sediment dredged in the Ourthe downstream of Nisramont

Figura 24. Volumen de sedimentos dragados en el Ourthe aguas abajo de Nisramont

Figure 24. Volume de sédiments dragué dans l'Ourthe en aval de Nisramont

thinks, reactions by public authorities and finally developments in scientific approaches considered in solving the problem.

This first point deals with the duality between a welcoming river, and the pleasure of living beside it and, on the other hand, an inevitable risk in living close to areas which, from ancestral memory, are submerged as soon as exceptional naturally recurring phenomena take place.

The potential danger of occupying these highly desirable areas in the floodplain has been well understood by the concerned population because public buildings or poor people living in camping areas have been damaged.

Different elements have sparked reactions by political authorities: the amount of damage, the questioning after catastrophes of people faced by events that seem to become more frequent, and finally all the financial problems (the deployment of public money through disaster funds, the circumstances of compensations paid by insurance companies). These authorities reacted in several ways: asking for urgent local protection works and setting up of a Commission gathering all opinions in order to discuss means and techniques of durable protection.

From a more scientific point of view, various paths of reflection have been suggested about the occupation of natural flooded areas (which poses besides the fundamental problem of the definition itself of a flood) and about the recurrence of exceptional events. On the one hand, realism must prevail when considering the potentialities of controlling natural phenomena. In extreme circumstances when one is subject to the caprices of nature, it is indispensable to explain that radical solutions also lead to strong and costly measures, which are often badly perceived or impracticable in a context of occupation of the valleys. This last point suggests that an economical pragmatism must stimulate the hydraulic engineer imagination in searching protection measures when faced by existing situations.

On the other hand the knowledge and understanding of hydraulic phenomena must lead to better controlling all the parameters influencing floods. These questions are important for forecasting, an hydraulic field in constant development thanks to expanding computer capabilities these last years. This sector, strictly linked to simulation, focus a growing attention. Indeed the general management of hydraulic resources confronts the manager with more complicated policies, dealing with more and more constraints and objectives. In this context, 'treating the basin in its entirety' constitutes without any doubt the most evident improvement when comparing

ción; la reacción por parte de los poderes de decisión; y, finalmente, una evolución de los tratamientos científicos considerados para solucionar el problema.

El primer punto hace referencia nuevamente a esta dualidad entre el río acogedor, con el placer que supone vivir a su lado, y el riesgo inevitable de rodearse de terrenos que, desde tiempo inmemorial, son invadidos por las avenidas cada vez que se producen fenómenos naturales de recurrencia excepcional.

El peligro potencial de ocupar esas zonas tan codiciadas, que constituyen el lecho mayor del río, ha sido comprendido mejor por las poblaciones cuando ha afectado a edificios públicos así como, principalmente, a campings, esto es, un estrato de población menos favorecido.

La importancia de los daños, la interpelación de las poblaciones después de la angustia ante hechos que parecen multiplicarse y toda la problemática financiera asociada con ello, desde la intervención de los fondos públicos a través de los Fondos de Catástrofes, hasta las definiciones de las condiciones de indemnización por parte de las compañías aseguradoras, han provocado una reacción de los poderes políticos, que se ha materializado en la realización de obras de protección puntual y en la puesta en marcha de una Comisión para discutir las técnicas y modalidades a poner en práctica para una protección duradera.

Desde un punto de vista más científico, la ocupación de zonas naturales de flujo durante las crecidas, que plantea por otro lado el problema fundamental de la propia definición de una inundación, y la ocurrencia de fenómenos excepcionales, sugieren varias líneas de reflexión. Por una parte, es bueno mostrar un cierto realismo en cuanto a las posibilidades de doblegar a la naturaleza. En circunstancias extremas, en las que se sufren los caprichos de la naturaleza, es indispensable explicar la dificultad de adoptar soluciones radicales sin recurrir a soluciones faraónicas, costosas, incomprendidas o irrealizables si se tiene en cuenta la ocupación de los valles. Este último punto sugiere la necesidad de un cierto pragmatismo económico en el ingeniero hidráulico a la hora de buscar soluciones frente a las situaciones existentes.

Por otra parte, la comprensión y el conocimiento de los fenómenos hidráulicos debe ayudar a orientar mejor las políticas de modificación de los parámetros que influyen en el flujo. Estas cuestiones dependen de la previsión, que ha contribuido considerablemente, en el ámbito de la hidráulica, a desarrollar el crecimiento de las posibilidades informáticas de

niveau de la population, la réaction de la part des pouvoirs de décision et enfin une évolution au niveau des approches scientifiques envisagées pour solutionner le problème.

Le premier point fait à nouveau référence à cette dualité entre la rivière accueillante, au plaisir qu'elle procure de vivre à ses côtés et, d'autre part, à l'inévitable risque de la côtoyer sur des terrains qui, de mémoire ancestrale, sont investis par les flots sitôt que des phénomènes naturels de récurrence exceptionnelle surviennent.

La potentialité dangereuse d'occuper ces zones si convoitées que constitue le lit majeur de la rivière a été d'autant mieux comprise par les populations qu'elle a touché que des bâtiments publics ainsi qu'au niveau des campings notamment, une frange de population plus défavorisée.

L'importance des dégâts, l'interpellation des populations après la détresse devant des faits qui semblent se multiplier, enfin toute la problématique financière y associée, de l'intervention de fonds publics par le biais du Fonds des Calamités aux définitions des conditions de dédommagement par les organismes d'assurance, tous ces éléments ont provoqué une réaction des pouvoirs politiques qui s'est notamment matérialisée par la réalisation de travaux de protection ponctuels et par la mise sur pied d'une Commission rassemblant toutes les sensibilités pour discuter des techniques et modalités à mettre en œuvre pour une protection durable.

D'un point de vue plus scientifique, l'occupation de zones naturelles d'écoulement en crue, qui pose par ailleurs le problème fondamental de la définition même d'une inondation, et l'occurrence de phénomènes exceptionnels suggèrent plusieurs pistes de réflexion. D'une part, il est bon de faire preuve de réalisme sur les potentialités d'infléchir fondamentalement la nature. Dans des circonstances extrêmes où l'on subit les caprices de la nature, il est indispensable d'expliquer la difficulté d'envisager des solutions radicales sans le recours à des solutions très lourdes, coûteuses, souvent mal perçues ou irréalisables dans le contexte d'occupation des vallées. Ce dernier point suggère par ailleurs qu'un certain pragmatisme économique doit susciter l'imagination de l'ingénieur hydraulicien dans la recherche de solutions sécuritaires face aux situations existantes.

D'autre part, la compréhension et la connaissance des phénomènes hydrauliques doit aider à mieux orienter les politiques d'altération de tout paramètre influençant les écoulements. Ces questions relèvent de la prévision, domaine en hydraulique qu'a considérablement contribué à développer l'accroissement

with the previous studies on this basin. This evolution is highlighted in the hydrological study described in section 1.5.7 as well as in the evaluation and simulation of a fundamental aspect such as the delineation of flooded zones. In the latter domain, described in section 3.4, the unsteady behaviour of these events must absolutely be taken into account, along with the favourable or unfavourable superimposition of flood waves from different tributaries.

These two aspects contrast with the classical hydraulic gradient methodology, traditionally implemented to provide local remedies which are often perceived as useless or harmful at the scale of the whole basin.

The Ourthe Commission has been created; its role is purely consultative but (rare) decisions have been taken following their directives.

■ The Walloon regional context

The serious floods which occurred in December 1993 have re-opened the debate on the management of flooding areas. The Ministry has reminded the Service of Land Use Planning and Housing (DGATL) "that it is reasonable in the view of recent events (...) to set up developmental policy for the flooding areas. (...) This policy, aiming first at the safety of the citizens, will enable a rational management of the valley floor" (cited by Michel, 1994). Besides, as outlined above (in section 3.2.2.), the experiences of the last fifteen years in the flooding area management have served to generate an awareness of the need to change the laws defining flooding areas and the possibilities of building in flooding areas.

estos últimos años. Este sector, estrechamente ligado a la modelización, recibe por otra parte una atención creciente, en la medida en que la gestión más integral de los recursos hidráulicos enfrenta al gestor con la elaboración de políticas cada vez más complejas, habida cuenta del número de condicionantes y objetivos que hay que conciliar de la mejor manera posible. En este contexto, "la consideración de la cuenca en su conjunto" es el aspecto que muestra más a las claras la evolución en relación con los estudios llevados a cabo hasta la fecha en la cuenca. Aparece claramente en el tipo de estudio hidrológico descrito en el apartado 1.5.7, así como en la evaluación y en la modelización de un aspecto fundamental: la determinación precisa de las zonas inundables. En este último ámbito, descrito de manera más detallada en el apartado 3.4, el aspecto no estacionario de los fenómenos aparece igualmente como ineludible, con toda la problemática subyacente de superposición favorable o no de las ondas procedentes de diferentes afluentes.

Estos dos aspectos contrastan con el tratamiento clásico en régimen permanente, puesto en práctica muchas veces como base de partida para la elaboración de soluciones locales, que a menudo se consideran inútiles o globalmente desfavorables a escala del conjunto de la cuenca.

La Comisión del Ourthe ha sido creada; su papel es únicamente consultivo, pero las (pocas) decisiones se han tomado siguiendo sus directrices.

■ A nivel de la Región Valona

Las graves inundaciones producidas en diciembre de 1993 han reanimado el debate sobre la gestión de las zonas inundables. El Ministro ha recordado a la Dirección general de Ordenación del Territorio y Vivienda (DGATL) "que es razonable, a la vista de los últimos acontecimientos (...) poner en marcha una política de ordenación del territorio en las zonas inundables (...). Esta política, cuyo objetivo es, por un lado, la seguridad de los ciudadanos, permitirá además una gestión racional de los suelos del valle" (citado por Michel, 1994). Por otro lado, como ya se ha indicado (ver apartado 3.2.2.), la experiencia de los últimos quince años en materia de gestión de zonas inundables ha servido para tomar conciencia de la necesidad de modificar las leyes que definen, por una parte, las zonas inundables y, por otra, la edificabilidad en las zonas inundables.

des possibilités informatiques de ces dernières années. Ce secteur, étroitement lié à la modélisation, reçoit par ailleurs une attention croissante dans la mesure où la gestion plus générale des ressources hydrauliques confronte le gestionnaire à l'élaboration de politiques de plus en plus complexes, tenant compte de nombre de contraintes et d'objectifs pour les concilier au mieux. Dans ce contexte, c'est l'aspect "prise en compte du bassin dans sa globalité" qui constitue sans doute l'évolution la plus notoire par rapport aux études proposées jusqu'alors sur ce bassin. Elle apparaît clairement dans le type d'étude hydrologique décrite au point 1.5.7 ainsi que dans l'évaluation et la modélisation d'un aspect fondamental: la détermination précise des zones inondées. Dans ce dernier domaine, décrit de façon plus détaillée au point 3.4, l'aspect instationnaire des phénomènes apparaît également incontournable, avec toute la problématique sous-jacente de superposition favorable ou non d'ondes issues des différents affluents.

Ces deux aspects contrastent avec l'approche classique type ligne d'eau, mise en œuvre à de multiples reprises comme base de travail pour l'élaboration de solutions locales, souvent perçues comme inutiles ou globalement défavorables à l'échelle de l'ensemble des problèmes du bassin.

La Commission de l'Ourthe a été créée; son rôle est uniquement consultatif mais les (rares) prises de décision ont été faites en suivant ses directives.

■ Au niveau de la région wallonne

Les graves inondations qui se sont produites en décembre 1993 ont réanimé le débat sur la gestion des zones inondables. Le Ministre a en effet rappelé à la Direction générale de l'Aménagement du Territoire et du Logement (DGATL) "qu'il est raisonnable au vu des derniers événements (...) de mettre en place une politique d'aménagement du territoire dans les zones inondables (...). Cette politique, visant d'une part la sécurité des citoyens, permettra entre autre une gestion rationnelle des fonds de vallée" (cité par Michel, 1994). Par ailleurs, comme nous l'avons développé ci-dessus (cf. point 3.2.2.), l'expérience des quinze dernières années en matière de gestion des zones inondables, a été à la base d'une prise de conscience de la nécessité de modifier les lois définissant les zones inondables d'une part, de la constructibilité en zones inondables d'autre part.

■ The federal context

Until recently, insurance companies did not contribute in flood damage compensation. This was covered by the 'Disaster Fund' in the case of exceptional and catastrophic events. Following the floods of 1993 and 1995 insurance companies have agreed to participate in damage compensation arising from flooding, in line with the solidarity of the whole population.

3.3.2 TIME SCALE FOR ANALYSIS, IMPLEMENTATION AND MAINTENANCE

■ Flood frequency evolution

The available series of floods on the Ourthe and most other Belgian rivers are generally short (about 25 years maximum). Thus Pauquet and Petit (1993) analysed documents where floods events are reported for a long time (newspapers, municipal and public archives, documents relating emergency services operations, etc.). Preliminary tests have revealed that the analysis of floods by using only newspapers, gives an underestimation of the number of events.

The number of floods per year in the Ourthe and the Lesse, obtained from these sources, is presented in the form of a three years moving average reported in Figure 25. There are periods where floods are clearly more frequent and others where they are scarcer. In this respect one finds the dry and wet periods evidenced by Probst (1989), on several large European rivers. They are, the dry period of the 1970s, the wetter period which started in 1979-1980, the abnormally wet period of the 1960s, and finally the relatively dry period of 1940-1957, which includes nevertheless a wetter interlude in the years 1951-1952. In other respects, when one examines in detail the evolution of floods in the Ourthe, it can be argued, that apart from the droughts of the 1970s, the floods frequency is not higher today than it was in the 1960s, and that indeed it tends to decrease. As it emerges from the analysis of the hydroclimatic events generating floods carried out by Pauquet (1992) and Bamboneyo (1995) on the whole of the Ourthe basin, this lessening of floods does not result from a modification of the precipitation regime. Instead it is related to recent actions which have, at least locally, contributed to improve flow conditions in the channel, and thus to increase bed capacity before overban-

■ A nivel federal

Hasta hace poco, las compañías de seguros no intervenían en la indemnización de los daños producidos por inundaciones; éstos eran cubiertos por los Fondos de Catástrofes, una vez establecido el carácter excepcional y catastrófico. A consecuencia de las inundaciones de 1993 y 1995, las compañías de seguros han aceptado intervenir en la indemnización de los daños producidos por las inundaciones, participando del espíritu de solidaridad del conjunto de la población.

3.3.2. ESCALA TEMPORAL PARA EL ANÁLISIS, LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO Y EL MANTENIMIENTO

■ Evolución de las avenidas

Dado que las series de caudales disponibles en el Ourthe y en la mayor parte de los ríos belgas, son generalmente demasiado cortas (del orden de 25 años como máximo), Pauquet y Petit (1993) han realizado un análisis sistemático de los documentos escritos susceptibles de relatar las inundaciones (análisis de la prensa, de los archivos municipales, de los documentos que reflejan la intervención de los servicios de socorro...). Los estudios previos han mostrado que el análisis de las inundaciones exclusivamente a través de la prensa, proporciona una estimación por defecto del número de sucesos, lo cual tiene su importancia en cuanto al alcance de los resultados.

El número de acontecimientos anuales obtenidos por búsqueda entre los documentos escritos relativos al Ourthe y al Lesse se presenta en la figura 25, en forma de media móvil con un paso de tiempo de 3 años. Se observa en primer lugar que se individualizan períodos en los que las inundaciones son claramente mas frecuentes y otros en que son más raras. En este sentido, se producen, con algunas matizaciones, los grandes períodos secos y húmedos puestos de manifiesto por Probst (1989) en algunos grandes ríos europeos. Se trata del período seco de los años setenta, del período más húmedo que se produjo a partir de 1979-80, del período anormalmente húmedo de los años sesenta y, finalmente, del período relativamente seco de los años 1940-1957, con un paréntesis más húmedo en los años 1951-52. Por otra parte, cuando se examina con detalle la evolución de las inundaciones del Ourthe, se constata que, independientemente de la sequía de los años ochenta, la frecuencia de las inundaciones en la actualidad no es mayor que en los

■ Au niveau fédéral

Jusqu'il a y peu, les compagnies d'assurances n'intervenaient pas dans l'indemnisation des dégâts des inondations; ceux-ci étaient couverts par le Fonds des Calamités pour autant que le caractère exceptionnel et catastrophique soit établi. Suite aux inondations de 1993 et 1995, les compagnies d'assurances ont accepté d'intervenir dans le dédommagement des dégâts résultant des inondations, dans un esprit d'une solidarité de l'ensemble de la population.

3.3.2. ECHELLE TEMPORELLE POUR L'ANALYSE, L'EXÉCUTION DU PROJET ET LA MAINTENANCE

■ L'évolution des crues

Etant donné que les séries de débits disponibles sur l'Ourthe et sur la plupart des rivières belges d'ailleurs, sont généralement trop courtes (de l'ordre de 25 ans maximum), Pauquet et Petit (1993) ont réalisé une analyse systématique des documents écrits susceptibles de relater les inondations (analyse de la presse, des archives communales, des documents reprenant les interventions des services de secours...). Des tests préalables ont montré que l'analyse des inondations par le seul biais de la presse, donne une estimation du nombre d'événements par défaut, ce qui a toute son importance quant à la portée des résultats.

Le nombre d'événements par an obtenus par dépouillement des sources écrites est l'Ourthe et la Lesse, est présenté sous forme d'une moyenne mobile à pas de 3 ans reporté sur la Figure 25. On constate tout d'abord qu'il s'individualise des périodes où les inondations sont nettement plus fréquentes et d'autres où elles sont plus rares. A cet égard, on retrouve, à quelques nuances près, les grandes périodes sèches et humides mises en évidence par Probst (1989), sur quelques grands fleuves européens. Il s'agit de la période sèche des années septante, de la période plus humide qui sévit à partir de 1979-1980, de la période anormalement humide des années soixante et enfin de la période relativement sèche des années 1940-1957, avec cependant une occurrence plus humide dans les années 1951-1952. Par ailleurs, lorsqu'on examine dans le détail l'évolution des inondations de l'Ourthe, on constate qu'indépendamment de la sécheresse des années septante, la fréquence des inondations n'est pas plus élevée à l'heure actuelle que dans les années soixante et qu'au contraire elle tend à diminuer.

king (Petit *et al.*, 1993). Furthermore, the absence of recent whorsening of the floods (clearly proved because the flood frequency in the past is underestimated) shows that modifications carried out in the basin since the beginning of the 20th century (such as changes in land-use or impermeabilisation of the basin due to urbanisation) have had only a small impact on the flood frequency.

◆ The evolution of the river course

❖ Based on topographical profiles, aerial photographs and field observations

In a 9 km long reach of the lower Ourthe, (the Ourthe meander downstream from Esneux), cross-section profiles surveyed in 1910 and 1986 have been compared. These topographical surveys are precise and take place with interdistances of 100 m. This comparison reveals a weak tendency towards enlargement of the bed, with local values of about 15 m in 75 years. The lateral erosion reaches a maximum of 0.20 m per year, but is usually limited to 0.10 m per year.

In the same reach of the lower Ourthe, the analysis of large scale aerial photographs where one finds some reference marks, such as isolated trees along the riverbanks or erosion notches, has enabled some observations as to the significance of lateral erosion. Thus for example, the largest notches observed at present in the riverbanks were not seen on photographs taken in 1947, which implies a lateral erosion rate of 0.15 m per year.

❖ Based on old maps

Average lateral erosion values emerge from comparisons between old maps such as those carried out for the Ourthe in

años sesenta, teniendo tendencia por el contrario a disminuir. Como se deduce del análisis efectuado por Pauquet (1992) y Bamboneyo (1995) sobre la evolución de los acontecimientos hidrológicos causantes de inundación, en el conjunto de la cuenca del Ourthe, dicha disminución de las inundaciones no se debe a una modificación de la importancia de las precipitaciones; está ligada, por contra, a una serie de obras recientes de acondicionamiento que, por lo menos a nivel local, han contribuido a mejorar las condiciones del flujo en el lecho menor y a aumentar así la capacidad del lecho a sección llena (Petit *et al.*, 1993). Por otra parte, el hecho de que las inundaciones no se hayan agravado recientemente pone de manifiesto que las modificaciones que han afectado a esta cuenca desde comienzos del siglo XX, tales como los cambios en el uso del suelo y la impermeabilización de la cuenca a consecuencia de la creciente urbanización, no han tenido más que un impacto limitado en la evolución de la frecuencia de las inundaciones.

◆ La evolución del trazado del río

❖ Análisis basado en perfiles topográficos, en fotos aéreas y en observaciones sobre el terreno

En un sector del Ourthe inferior, de 9 kms de longitud (el meandro del Ourthe en Esneux), ha sido posible efectuar una comparación entre perfiles topográficos tomados en 1910 y en 1986, con levantamientos locales intermedios; estos levantamientos topográficos son muy precisos y se sitúan a una equidistancia de un centenar de metros. Esto ha permitido ver que hay una tendencia tímida al ensanchamiento del lecho, con valores puntuales del orden de 15 metros en 75 años; la erosión local alcanza 0,20 m/año como máximo, pero generalmente es de 0,10 m/año.

En este mismo sector del Ourthe inferior, el análisis de fotos aéreas a gran escala, en las que aparecen algunas referencias tales como árboles aislados de la margen o cortes de erosión, ha permitido hacerse una idea en cuanto a la importancia de la erosión lateral. Así, los cortes de erosión más profundas que se observan actualmente en las márgenes (más de 7 metros) no estaban presentes en las fotos de 1947, lo cual indica una velocidad de erosión lateral próxima a 0,15 m/año.

❖ Análisis de mapas antiguos

Mediante la realización de análisis comparativos de documentos cartográficos antiguos, como el llevado a cabo por

Comme il ressort de l'analyse de l'évolution des événements hydroclimatiques générateurs d'inondation effectuée par Pauquet (1992) et Bamboneyo (1995) sur l'ensemble du bassin de l'Ourthe, cette diminution des inondations ne résulte pas d'une modification de l'importance des précipitations; elle est liée à certains travaux d'aménagement récents qui ont au moins localement, contribué à améliorer les conditions d'écoulement dans le lit mineur et à accroître ainsi la contenance du lit avant débordement (Petit *et al.*, 1993). Par ailleurs, l'absence d'aggravation récente des inondations (d'autant plus justifiée que la fréquence des inondations dans le passé était estimée par défaut), montre que les modifications qui ont affecté ce bassin depuis le début du XXe siècle, modifications telles que les changements d'affectation du sol et l'imperméabilisation du bassin suite à une urbanisation croissante, n'ont eu qu'un impact limité sur l'évolution de la fréquence des inondations.

◆ L'évolution du tracé de la rivière

❖ Sur base de profils topographiques, de photos aériennes et d'observations de terrain

Dans un secteur de l'Ourthe inférieure long de 9 km (la boucle de l'Ourthe à Esneux), il a été possible d'effectuer une comparaison entre des profils topographiques levés en 1910 et en 1986, avec localement des levés intermédiaires; ces levés topographiques sont d'une grande précision et se situent à une entredistance d'une centaine de mètres. Ceci a permis de voir qu'il y a une tendance timide à un élargissement du lit, avec localement des valeurs de l'ordre de 15 m en 75 ans; l'érosion latérale atteint 0,20 m/an au maximum mais plus généralement elle est de 0,10 m/an.

Dans ce même secteur de l'Ourthe inférieure, l'analyse de photos aériennes à grande échelle où apparaissent certains repères tels que des arbres isolés de la berge ou des encoches d'érosion, a permis de se faire une opinion quant à l'importance de l'érosion latérale. Ainsi les encoches les plus profondes observées actuellement dans les berges (plus de 7 m), n'étaient pas présentes sur les photos de 1947, ce qui donne une vitesse d'érosion latérale voisine de 0,15 m/an.

❖ Sur base de l'analyse des cartes anciennes

Des valeurs de l'érosion latérale moyenne ressortent de la comparaison des documents cartographiques anciens telles que

Famenne by Juvigne (1964) and Targe (1970) (Table 12). Such comparisons enable an evaluation of the processes and the rate of meander cutting as well as eventual modifications of the sinuosity. In the case presented by Juvigne the process of meander cutting was not done only by neck cut-off but equally by chute cut-off (with overflowing across the meander neck). On the other hand, one meander was cut-off in 70 years whilst in 40 years (between 1924 and 1963) three meanders were formed.

Other studies of old maps have been carried out on several rivers in Upper Belgium and give comparable values of 0.20 m per year of lateral erosion in the upper Amblève (Charlier, 1970). Still based on old maps, identical localisation of islands are noted in the Ourthe since the 18th-19th century.

❖ Based on the identification of a stratigraphical marker

The importance of lateral erosion has been estimated using a stratigraphic marker identified by Henrottay (1973). It consists of microscopic slags evidence of ancient ironworks set up in the Ardennes valleys since the 13th century. The debris from this industry were thrown into the rivers. When these microscopic slags are present in river deposits, they attest that the latter were built after the 13th century. Thus, as demonstrated in Figure 12,

Juvigne (1964) y Targe (1970) sobre el Ourthe en Famenne (Tabla 12), se deducen valores medios de la erosión lateral. Dichas comparaciones permiten además hacer un seguimiento más detallado de los procesos de corta de meandros y de su velocidad, así como de eventuales modificaciones de la sinuosidad. En el caso presentado por Juvigne, la corta de meandros no se produce tan sólo por tangencia sino también por vertido a través de los pedúnculos de los meandros. Por otro lado, cabe señalar que en 70 años se ha producido la corta de un meandro, mientras que en 40 años (entre 1924 y 1963) se han formado tres meandros.

Se han llevado a cabo otros estudios sobre mapas antiguos en varios ríos de la Alta Bélgica, habiendo dado valores del orden de 0,20 m/año en el Amblève superior (Charlier, 1970). Por otro lado, siempre con la ayuda de mapas antiguos, cabe afirmar que la localización de las islas permanece inalterada desde el siglo XVIII-XIX.

❖ Con base en la identificación de un indicador estratigráfico

La importancia de la erosión lateral se ha podido estimar gracias a la individualización llevada a cabo por Henrottay (1973) de un indicador estratigráfico; se trata de escorias microscópicas, testimonio de la industria metalúrgica de antaño que se instaló en los valles ardenneses a partir de mediados del siglo XIII. Los restos de esta industria se han vertido en los ríos, con lo cual, cuando estas escorias se encuentran en un depósito flu-

l'ont effectué notamment Juvigné (1964) et Targé (1970) pour l'Ourthe en Famenne (Tableau 12). De telles comparaisons permettent en outre de cerner les processus et la vitesse des recouplements de méandres ainsi que d'éventuelles modifications de la sinuosité. Dans le cas présenté par Juvigne, le processus de recouplement de méandres ne se fait pas uniquement par tangence mais également par déversement au travers des péduncules des méandres. Par ailleurs en 70 ans tout un méandre s'est fait recouper alors qu'en 40 ans (entre 1924 et 1963) trois méandres se sont formés.

D'autres études de cartes anciennes ont été réalisées sur plusieurs rivières de Haute Belgique et ont donné des valeurs comparables avec 0,20 m/an sur l'Amblève supérieure (Charlier, 1970). Par ailleurs, toujours sur base des cartes anciennes, on note une localisation des îles identique depuis le XVIII-XIXe siècle.

❖ Sur base de l'identification d'un marqueur stratigraphique

L'importance de l'érosion latérale a pu être estimée grâce à l'individualisation par Henrottay (1973), d'un marqueur stratigraphique; il s'agit de scories microscopiques, témoins de l'industrie métallurgique d'autrefois qui s'est installée dans les vallées ardennaises à partir du milieu du XIIIe siècle. Les débris de cette industrie ont été rejetés dans les rivières, si bien que, lorsque ces scories microscopiques sont présentes dans un dépôt fluvial, elles

Table 12. Estimation of lateral erosion from a comparison of old maps (Petit, 1991)

Tabla 12. Estimación de la erosión lateral a partir de comparación de documentos cartográficos antiguos (Petit, 1991)

Tableau 12. Estimation de l'érosion latérale à partir de la comparaison des documents cartographiques anciens (Petit, 1991)

River	Erosion (m)	Date	Rate of erosion (m/year)	Source	Author
OURTHE (Famenne)	160 (*)	1775	0.80	Ferraris	Juvigné (1964) and Targe (1970)
	50-60	1775	0.25-0.30		
AMBLÈVE	30 (*)	1828	0.20	Prussian atlas	Charlier (1970)
	15	1828	0.10		
BERWINNE	50 (*)	1850	0.35	Cadastral atlas	Parotte (1991)
	30 (*)	1960	0.90	Mapping photograph	
	15	1850	0.10	Cadastral atlas	
RULLES		1973	0.15	Topographic level	Petit (1983)

(*) Maximum values

dealing with the Amblève valley, the silt contains microscopic scoria and was thus deposited after the 13th century, along all the width of the floodplain. Silt without scoria (before 13th century) has been washed out which implies that from that time on, the river has swept away, at least once, all its floodplain across a width of 100 m. This gives valuable indications as to the rate of lateral erosion. In this case it achieves an average lateral erosion rate of 16m per century. Henrottay (1973) has systematically looked for these scoria in the floodplains of several Ardennes and Condroz rivers. This study led to the following figures as to the importance of lateral erosion (Table 13).

▣ River incision

❖ At the present time

The comparison, in a reach of the lower Ourthe (length 10 km), of an hundred cross section surveys carried out in 1910 and in 1986, has revealed that the incision of the river is negligible except in some sites where it exceeds 1 m, probably in relationship with dredging (Petit *et al.*, 1994). In some sites a tendency towards aggradation is even noticed.

❖ Over the course of history

Information does not exist for the Ourthe itself, but different methods have allowed to estimate the incision of Ardennes rivers during the historic times.

vial, ponen de manifiesto que dicho depósito se ha formado después de mediados del siglo XIII. Así, como se puede ver en la Figura 12, relativa al valle del Amblève, la totalidad de los limos de crecida contienen escorias microscópicas y han sido depositados, por lo tanto, después del mediados del siglo XIII, en toda la anchura de la llanura aluvial. Hay que destacar que los limos sin escorias (anteriores al siglo XIII) han desaparecido completamente, lo cual quiere decir que han sido erosionados por el río y que éste ha barrido, desde esta época, al menos una vez, toda la llanura aluvial en una anchura de 100 metros. Esto nos da una indicación clara de la velocidad de erosión lateral del río; en este caso se alcanza una velocidad de erosión lateral de 16 metros por siglo. Henrottay (1973) ha investigado de manera sistemática estas escorias en las llanuras aluviales de diferentes ríos de las Ardenas y del Condroz, lo cual permite cuantificar la importancia de la erosión lateral (Tabla 13).

▣ La incisión de los ríos

❖ En la época actual

La comparación de más de un centenar de perfiles transversales, obtenidos en un sector del Ourthe inferior (en una longitud de unos 10 km) en 1910 y en 1986 (Petit *et al.*, 1994), ha permitido constatar que la incisión del río es despreciable, si bien en algunos casos llega a sobrepasar 1 m, debido probablemente a las labores de dragado. En algunos lugares se observa incluso una tendencia a la elevación.

❖ Durante el período histórico

No existen datos sobre el Ourthe en sí mismo, aunque la utilización de diversos métodos ha permitido hacerse una idea sobre la incisión de los ríos de Las Ardenas a lo largo de la historia.

attestent que ce dernier s'est édifié après le milieu du XIII^e siècle. Ainsi, comme on peut le voir à la Figure 12 qui se rapporte à la vallée de l'Amblève, l'ensemble des limons de crues contiennent des scories microscopiques et ont donc été déposés après le milieu du XIII^e siècle, ceci sur toute la largeur de la plaine alluviale. Mais il faut noter que les limons sans scories (antérieurs au XIII^e siècle) ont complètement disparus, ce qui implique qu'ils ont été érodés par la rivière et que cette dernière a donc balayé, depuis cette époque, au moins une fois toute sa plaine alluviale sur une largeur de 100 m. Ceci nous fournit donc une indication précieuse quant à la vitesse d'érosion latérale de la rivière; dans le cas présent on atteint une vitesse moyenne d'érosion latérale de 16 mètres par siècle. Henrottay (1973) a recherché systématiquement ces scories dans les plaines alluviales de différentes rivières d'Ardenne et du Condroz, ce qui permet d'avancer les chiffres suivants quant à l'importance de l'érosion latérale (Tableau 13).

▣ L'incision des rivières

❖ A l'heure actuelle

La comparaison, dans un secteur de l'Ourthe inférieure (long d'une dizaine de km), de plus d'une centaine de profils transversaux levés en 1910 et en 1986 (Petit *et al.* 1994) a permis de voir que l'incision de la rivière est négligeable si ce n'est dans certains sites où elle dépasse 1 m, probablement en relation avec les dragages. A certains endroits on note même une tendance à l'aggradation.

❖ Au cours de la période historique

Il n'existe pas de données sur l'Ourthe même, mais différentes méthodes ont permis de se faire une opinion quant à l'incision des rivières ardennaises au cours de la période historique.

Table 13. Estimation of lateral erosion based on the presence of scoria (from Henrottay, 1973)

Tabla 13. Estimación de la erosión lateral con base en la presencia de escorias (según Henrottay, 1973)

Tableau 13. Estimation de l'érosion latérale sur base de la présence de scories (d'après Henrottay, 1973).

River	Width of alluvial plain (m)	Lateral erosion (m)	Date (century)	Erosion speed (m/year)
SOMME (Condroz)	100	20	XV th	0.04
AMBLÈVE	110	110	XIII th	0.16
OURTHE	80	70	XIII th	0.10
	100	90	XIII th	0.13
	220	200	XIII th	0.28

A first method is based on the vestiges of gold washing in the Ardennes dating from Celtic times (Dumont, 1979, 1980; Wavreille, 1987). The streams level regarding the foot of the derelict mounds reaches sometimes 1m but it is more often imperceptible. Thus it shows that the incision of streams in the headwaters has been very weak for two thousand years (Petit, 1995).

This weak river incision has been confirmed by another approach based on the study of fossilised trees (dated using 14 Carbon) found in old deposits, which constitute the present floodplain (Petit, 1995). Furthermore the size of the material which constitute these old deposits is identical to the size of the present moveable elements, demonstrating that the competence of the river has not changed much since the 12th century.

These studies show that the dynamics of the Ardennes rivers have changed little over the last centuries. The same results were obtained by Suttor (1989) for the Meuse by using a completely different approach, who demonstrated that the position of the fords (in reality, the riffles) have changed little since the 18th century.

Un primer método es el basado en los restos de la explotación aurífera en Las Ardenas, que datan de la época celta (Dumont, 1979, 1980; Godefroid, 1981; Wavreille, 1987). La incisión de los arroyos en la base de los montículos relictos alcanza de manera excepcional un metro, aunque a menudo es imperceptible, mostrando así que la incisión de los arroyos en cabecera ha sido muy baja desde hace dos mil años (Petit, 1995).

Estos pequeños valores de la incisión de los ríos se han visto confirmados por la presencia, en el interior de depósitos antiguos que constituyen la llanura aluvial actual, de árboles fosilizados, cuya antigüedad se ha determinado mediante el Carbono 14 (Petit, 1984, 1988b). Por otro lado, el tamaño de los elementos que constituyen estos depósitos antiguos es comparable con la de los que actualmente es capaz de movilizar el río, lo cual indica que la capacidad de arrastre del río apenas se ha modificado desde el siglo XII.

Estos estudios indican que la dinámica de los ríos de Las Ardenas apenas ha sufrido modificaciones en los últimos siglos, lo cual ya lo había puesto de manifiesto Suttor (1989) en el Mosa partiendo de otro enfoque, mostrando principalmente que la localización de los vados (esto es, los rápidos) apenas se había modificado desde el siglo XVIII.

Une première méthode est basée sur les vestiges d'orpaillage en Ardenne qui datent de l'époque celtique (Dumont, 1979, 1980; Godefroid, 1981; Wavreille, 1987). L'incision des ruisseaux par rapport à la base des tertres relictuels atteint exceptionnellement un mètre, mais est le plus souvent imperceptible, démontrant ainsi que l'incision des ruisseaux en tête de bassin a été très faible depuis deux mille ans (Petit, 1995).

Cette faible incision des rivières a été confirmée par une autre approche basée sur la présence, au sein de dépôts anciens qui constituent la plaine alluviale actuelle, d'arbres fossilisés qui ont été datés au Carbone 14 (Petit, 1984, 1988b). Par ailleurs la taille des éléments qui constituent ces anciens dépôts est identique à celle des éléments qui sont actuellement mobilisables, montrant que la compétence de cette rivière s'est peu modifiée depuis le XIIIe siècle.

Ces études montrent que la dynamique des rivières ardennaises s'est peu modifiée au cours des derniers siècles, ce que Suttor (1989) avait mis en évidence dans la Meuse en faisant appel à une toute autre approche, cet auteur montrant notamment que l'emplacement des gués (c'est à dire les seuils) s'était peu modifié depuis le XVIIIe siècle.

► The urbanisation of the catchment and the floodplain

❖ The catchment

The Ourthe basin has not known an appreciable evolution neither in population density nor in built-up areas. The construction of the Liège-Luxembourg motorway at the beginning of the 1970s, (often attacked as a factor aggravating floods), represents in reality a tiny portion of the basin (less than 0.005% of the surface area). In addition rainstorm retention basins have been regularly developed, which mitigate maximum discharges generated by surface runoff. On the other hand, the installation of sewerage in all the Walloon communities risk to cause more important flood problems in the future.

❖ The floodplain

Contrary to the common opinion, the urbanisation of the floodplain is not a recent phenomenon. In Hamoir, for exam-

► Urbanización de la cuenca vertiente y de la llanura aluvial

❖ A nivel de la cuenca vertiente

La cuenca del Ourthe no ha conocido una evolución sensible de la densidad de población ni de las superficies edificadas. La construcción, a comienzos de los años 70, de la autopista Lieja-Luxemburgo, criticada muchas veces como factor agravante de las inundaciones, no representa en realidad más que una porción ínfima de la cuenca (menos del 0,005% de la superficie); además, se han dispuesto tanques de tormenta de manera regular, lo cual tiende a disminuir los caudales de punta originados por la escorrentía. Por el contrario, en el futuro se puede plantear un problema mucho más acuciante; se trata de la instalación de la red de saneamiento prevista para el conjunto de los ayuntamientos valones.

❖ A nivel de la llanura aluvial

En contra de lo que generalmente se percibe en la opinión pública, la urbanización de la llanura aluvial no es un fenómeno

► L'urbanisation du bassin versant et de la plaine alluviale

❖ Au niveau du bassin versant

Le bassin de l'Ourthe n'a pas connu une évolution sensible de la densité de population ni des surfaces bâties. La construction de l'autoroute Liège-Luxembourg au début des années septante, incriminée à de multiples reprises comme facteur aggravant des inondations, ne représente en réalité qu'une portion infime du bassin (moins de 0,005% de la superficie); de plus des bassins d'orage ont été régulièrement aménagés, ce qui tend à atténuer les débits de pointe engendrés par ruissellement. En revanche, un problème beaucoup plus aigu risque de se poser dans le futur; il s'agit de l'installation du réseau d'égouttage prévu à terme pour l'ensemble des communes wallonnes.

❖ Au niveau de la plaine alluviale

Contrairement à ce qui est généralement perçu dans l'opinion publique, l'urbanisation de la plaine alluviale n'est pas un

ple, nearly 40% of buildings predate 1918 (cf. section 1.2.2). One could equally show numerous examples of old buildings in the floodplain. However, there is no systematic analysis of the degree of recent urbanisation of the floodplain in the entire Ourthe basin.

On the other hand, the proliferation of camp sites in the floodplain is a recent phenomenon which began its expansion at the beginning of the 1970s (cf. section 1.2.2).

►► Modifications of the land-use at the catchment level

These changes deal essentially with the reforestation of the basin and with the systematic change from cultivated to pasture land, especially in north-east Ardenne and in the Upper Ardenne (cf. section 1.2.1).

3.3.3. WHAT IS THE DESIGN PROCESS?

Following the repeated flooding of the 1980s and above all the big flood of december 1993, grand plans for fighting against inundations were elaborated, such as the building of peak discharge limiting dams. But, at present, these costly plans have been abandoned and all efforts during the last five years were focused on maintenance works (dredging, riverbank protection) and on very local protection works, including the building of anti-flood walls.

As for the improvement of the river water quality, by contrast, there are European obligations and their realisation have been precisely planned (cf. section 2.4.1.).

In other respects, the design of works to be carried out has evolved in so far as previous very local studies have been substituted by river basin modelling approaches. The transient character of hydraulic processes is currently taken into account in river planning design. Nevertheless, classical methodologies are still applied in the case of small scale development projects, such as riverbank protection or localised bed straightening, carried out step by step during, for example, road construction in the river corridor.

no reciente, ya que, en Hamoir por ejemplo, cerca del 40% de los edificios situados en zona inundable son anteriores a 1918 (ver apartado 1.2.2). Se podrían presentar igualmente numerosos ejemplos de edificios antiguos situados en zona inundable. Se echa en falta un estudio sistemático del grado de urbanización reciente de la llanura aluvial en el conjunto de la cuenca del Ourthe.

Por el contrario, la proliferación de campings en zona inundable sí es un fenómeno reciente, que ha recibido su mayor impulso a comienzos de los años setenta (ver apartado 1.2.2).

►► Las modificaciones del uso del suelo en la cuenca vertiente

Estos cambios se refieren fundamentalmente a la repoblación forestal de la cuenca y a la transformación sistemática de los cultivos en praderas, especialmente en el noreste de Las Ardenas y en la Altas Ardenas (ver apartado 1.2.1).

3.3.3. ¿CUÁL ES EL PROCESO DE DISEÑO?

Como consecuencia de las inundaciones sucesivas de los años ochenta y sobretodo de la avenida de 1993, se ha abordado el estudio de grandes proyectos de lucha frente a las inundaciones, tales como la construcción de embalses de laminación. Sin embargo, en la actualidad, dichos proyectos han sido abandonados y tan sólo se han llevado a cabo actuaciones de mantenimiento (dragado, protección de márgenes), por una parte, o actuaciones de tipo extraordinario pero de carácter local, por otra.

En cuanto a la depuración, por el contrario, existe una obligación europea y las realizaciones están sujetas a una determinada planificación (ver apartado 2.4.1.).

Por otro lado, la concepción de las obras a realizar ha evolucionado en tanto en cuanto los antiguos estudios de carácter local se han sustituido por análisis mucho más globales de modelización a escala de la cuenca. En la actualidad se considera la no estacionariedad de los procesos, en contraposición a los métodos estacionarios utilizados tradicionalmente a nivel local. Se mantiene la utilización de estos últimos en actuaciones de carácter limitado, como son la protección de márgenes o las rectificaciones puntuales del lecho, llevadas a cabo, por ejemplo, con ocasión de la realización de obras de carreteras.

phénomène récent puisque à Hamoir par exemple, près de 40% des immeubles situés en zone inondable datent d'avant 1918 (cf. point 1.2.2.). On pourrait également présenter de nombreux exemples de bâtiments anciens situés en zone inondable. Mais il manque une étude systématique du degré d'urbanisation récent dans la plaine alluviale, au niveau de l'ensemble du bassin de l'Ourthe.

En revanche, la prolifération des campings en zone inondable est un phénomène récent qui a pris son essor principal au début des années septante (cf. point 1.2.2.).

►► Les modifications de l'affectation du sol au niveau du bassin versant

Ces changements portent essentiellement sur la reforestation du bassin et sur le passage systématique de la culture à l'herbage, spécialement dans le nord-est de l'Ardenne et dans la Haute-Ardenne (cf. point 1.2.1.).

3.3.3. QUEL EST LE PROCESSUS DE CONCEPTION?

A la suite des inondations répétées des années quatre-vingt et surtout de la crue de 1993, de grands projets de lutte contre les inondations ont été mis à l'étude, tels que la construction de barrages écrêteurs. Mais à l'heure actuelle, ces projets ont été abandonnés et seules des actions d'entretien (dragage, protection de berge) sont encore réalisées d'une part, ou des actions dites extraordinaires mais à caractère très local d'autre part.

Pour l'épuration par contre, il existe une obligation européenne et les réalisations sont soumises à une planification (cf. point 2.4.1.).

Par ailleurs, la conception des travaux à effectuer a évolué dans la mesure où à des études autrefois menées localement se sont substituées des approches beaucoup plus globales de modélisation au niveau du bassin. Le caractère instationnaire des processus est à présent exploité, par opposition aux méthodes stationnaires traditionnellement utilisées au niveau local. Celles-ci restent cependant d'usage pour des projets d'aménagement limités, tels des protections de berge ou des rectifications ponctuelles du lit, menés au coup par coup à l'occasion par exemple de travaux routiers.

3.3.4. SCIENTIFIC CONSIDERATIONS IN THE PROJECTS

■ Geomorphology

Within the context of recent impact studies (Ourthe Commission, impacts of flood control dams in the western Ourthe), some points with a geomorphological character have been considered. In the future the following problems will have to be taken into account in the conception of development works:

- the impact of the construction of dams on the refilling of reservoirs by sediments and the cessation of bed-load transit (risk of incision downstream and of aggradation upstream of reservoirs);
- the impact of the reduction of flood discharges on the sedimentary structure of the bed (armouring processes);
- the periodicity of dredging and their localisation need a better understanding of solid flows and bed load transport (frequency of transport, size and amount of material carried, availability of pebbly material);
- the morphology of the floodplain, related to flooding areas and the damage occasioned (existence of flood paths, etc.).

■ Ecology

The concern for ecology in the design of hydraulic development works of rivers emerged at the end of the 1970s, as a reaction of environmental associations (fishing, nature conservation, bird watching) against works judged excessive ("the devastation of rivers by the Hydraulic Agricultural Department") and the destruction of aquatic and particularly fish habitats (Huet and Timmermans, 1976; Philippart, 1980). The scientific bases of a more ecological development of water courses in south Belgium were developed thanks to studies carried out at the turn of the 1980s. A first type of studies were dealing with the state of the fish fauna and other aquatic animals in Wallonia and the inventory of restoration-protection measures to be set up (Philippart and Vranken, 1983 a, b). The second type of studies were focused on surveying and testing ecological methods to protect riverbanks, as essential elements for the river ecosystems (Verniers, 1983).

In the mid-1980s and above all from 1987, the date of the start-up of the 'Meuse Saumon 2000' program, particular atten-

3.3.4. TOMA EN CONSIDERACIÓN DE LOS ASPECTOS CIENTÍFICOS EN LOS PROYECTOS

■ Geomorfología

En el marco de ciertos estudios recientes (Comisión del Ourthe, incidencias de los embalses de laminación en el Ourthe oriental), se han considerado algunos puntos de carácter geomorfológico, pero en el futuro deberían tenerse más en cuenta en la concepción de los trabajos de acondicionamiento:

- el impacto de la construcción de presas en el relleno de los embalses por los sedimentos y en la imposibilidad de tránsito del arrastre de fondo (riesgo de erosión aguas abajo y de acreción aguas arriba de los embalses);
- el impacto de la laminación de las crecidas en la estructura sedimentaria y en el proceso eventual de armado de los lechos;
- la periodicidad de los dragados y su localización necesita un mejor conocimiento del flujo de sedimentos y del tránsito del arrastre de fondo (frecuencia de arrastre, tamaño del material movilizado, disponibilidad de reservas de material);
- la morfología de la llanura aluvial, en relación con las zonas inundables y los daños ocasionados (presencia de cauces de crecida, etc.).

■ Ecología

La preocupación por la toma en consideración de la ecología en la concepción de los trabajos de ordenación hidráulica en los ríos ha nacido a finales de los años setenta, como consecuencia de la reacción de numerosos movimientos ambientalistas (pescadores, conservación de la naturaleza, observadores de aves) en contra de realizaciones que se han juzgado excesivas ("el saqueo de los ríos por parte de los servicios de hidráulica agrícola") y destructoras de los equilibrios acuáticos y especialmente piscícolas (Huet y Timmermans, 1976; Philippart, 1980). Las bases científicas para un acondicionamiento más ecológico de los cursos de agua del sur de Bélgica fueron aportadas por una serie de estudios realizados a finales de los años setenta y principios de los ochenta. Se trataba, por una parte, de estudios sobre el estado de la fauna piscícola y de otros animales acuáticos en Valonia y del inventario de las medidas de protección-restauración a poner en marcha (Philippart y Vranken, 1983a, b) y, por otra, de estudios relativos a los métodos ecológicos de acondicionamiento de

3.3.4. PRISE EN COMPTE DES MATIÈRES SCIENTIFIQUES DANS LES PROJETS

■ Géomorphologie

Dans le cadre de certaines études d'incidence récentes (Commission de l'Ourthe, incidences des barrages écrêteurs sur l'Ourthe orientale), certains points à caractère géomorphologique ont été envisagés mais devraient à l'avenir être davantage pris en compte dans la conception des travaux d'aménagement:

- l'impact de la construction des barrages sur le remplissage des retenues par les sédiments et l'arrêt du transit de la charge de fond (risque d'incision en aval et d'aggradation en amont des retenues);
- l'impact du laminage des crues sur la structure sédimentaire et sur d'éventuels effets d'armure des lits;
- la périodicité des dragages et leur localisation nécessitant une meilleure connaissance du flux des sédiments et du transit de la charge de fond (fréquence du charriage, taille du matériel mobilisé, disponibilité des réserves en matériel caillouteux);
- la morphologie de la plaine alluviale, en relation avec les zones inondables et les dégâts occasionnés (présence de chenaux de crues etc.).

■ Ecologie

Le souci de prise en compte de l'écologie dans la conception des travaux d'aménagement hydrauliques en rivière est apparue à la fin des années 1970, suite à la réaction de nombreux mouvements environnementalistes (pêcheurs, conservation de la nature, observateurs d'oiseaux) contre des réalisations jugées excessives ("le saccage des rivières par les services de l'hydraulique agricole") et destructrices des équilibres aquatiques et spécialement des poissons (Huet et Timmermans, 1976; Philippart, 1980). Les bases scientifiques d'un aménagement plus écologique des cours d'eau du sud de la Belgique furent apportées par une série d'études réalisées à la fin des années 1970- début des années 1980. Il s'agissait, d'une part, d'études sur l'état de la faune des poissons et des autres animaux aquatiques en Wallonie et de l'inventaire des mesures de protection-restauration à mettre en œuvre (Philippart et Vranken, 1983a, b) et, d'autre part, d'études relatives aux méthodes écologiques d'aménagement des berges, éléments essentiels des écosystèmes 'rivière' (Verniers, 1983).

tion was paid by scientists and water courses managers to the blockage of fish migration by dams and weirs and to the necessity of equipping these physical obstacles with efficient fish ways (MET, 1992). Thinking about these problems on a federal (Walloon and Flanders regions) and an international (Belgium, Holland, Luxembourg) level led in 1996 to a Benelux Directive on "fish migration and fish by-passes". According to this directive, managers of the navigable and non-navigable water courses have to undertake a programme of building fish by-passes on the dams located in their geographical area, giving a priority to the Meuse-Ourthe axis in order to make this great Ourthe-Ambève salmonid river system accessible to atlantic salmon by the year 2002.

Complementing these studies and actions for re-establishing the free fish migration in rivers, scientific studies were undertaken at the end of 1980 on the characterisation, preservation and restoration of the physical fish habitat (hydraulic, thermal, sedimentological) (Philippart *et al.*, 1989; Philippart, 1990, 1997). Based on the results obtained, it became possible to attempt to integrate into water courses developmental projects well-designed and costed recommendations to preserve reproduction and nursery habitats, indispensable for the long-term maintenance of fish populations in a gravel bed river such as the Ourthe. These ecological data were notably used in the Ourthe to identify reaches which should not be dredged and to define the types of dredging having a reduced effect on fish ecology and productivity (Philippart *et al.*, 1994).

■ Planning

Delimitation of flooding zones is expected to be done on a more systematic and scientific way than carried out at present (cf. section 3.2.2.).

■ Hydraulic and hydrological aspects

❖ Hydrological aspect

In order to manage a catchment from a transient point of view, it is important to evaluate accurately the temporal distri-

márgenes, que constituyen elementos esenciales de los ecosistemas "río" (Verniers, 1983).

A mediados de los años ochenta y sobre todo a partir de 1987, fecha de inicio oficial del proyecto Meuse Saumon 2000, los científicos y los gestores de los cursos de agua otorgaron una atención particular al problema de bloqueo de las migraciones de peces debido a las presas de todo tipo y a la necesidad de equipar estas obras de dispositivos de paso eficaces (MET, 1992). La reflexión a escala federal belga (regiones valona y flamenca) e internacional (Bélgica, Holanda, Luxemburgo: Benelux) sobre estos temas provocó la entrada en vigor, en 1996, de una directiva Benelux obligando a los gestores de los cursos de agua navegables y no navegables a abordar un programa de construcción de pasos para peces en las presas de su ámbito geográfico, prioritariamente en el eje Mosa-Ourthe con objeto de hacer que este gran dominio salmonícola Ourthe-Ambève vuelva a ser accesible al salmón hacia 2002.

Como complemento a estas reflexiones y actuaciones concretas sobre el restablecimiento de la libre circulación de peces, a finales de los años ochenta se llevaron a cabo una serie de estudios científicos sobre la caracterización, mantenimiento y restauración del hábitat físico (hidráulico, térmico, sedimentológico) de los peces (Philippart *et al.*, 1989; Philippart, 1990, 1997). Con sus resultados, fue posible intentar incorporar, en los proyectos de ordenación hidráulica de los cursos de agua, algunas recomendaciones para proteger los hábitats de reproducción y de desarrollo de los alevines, con objeto de mantener las comunidades de peces en los ríos bastante rápidos con lecho de guijarros, como es el caso del Ourthe. Estos datos ecológicos se utilizaron principalmente en el Ourthe para identificar los sectores no dragables y para definir las modalidades de ejecución de los dragados que tuviesen un menor impacto ecológico y piscícola (Philippart *et al.*, 1994).

■ Ordenación del territorio

Está previsto delimitar las zonas inundables con ayuda de criterios más elaborados que los que se tienen en cuenta en la actualidad (ver apartado 3.2.2.).

■ Aspectos hidráulicos e hidrológicos

❖ Aspecto hidrológico

En el marco de la gestión global de una cuenca considerada desde un punto de vista no estacionario, es importante eva-

Au milieu des années 1980 et surtout à partir de 1987, date du démarrage officiel du projet 'Meuse Saumon 2000', une attention particulière fut accordée par les scientifiques et les gestionnaires des cours d'eau au problème du blocage des migrations des poissons par les barrages de tous types et par la nécessité d'équiper ces ouvrages de dispositifs de franchissement efficaces (MET, 1992). C'est la réflexion sur ces questions à l'échelle fédérale belge (régions wallonne et flamande) et internationale (Belgique, Hollande, Luxembourg: Bénélux) qui déboucha en 1996 sur l'entrée en vigueur d'une directive Bénélux imposant aux gestionnaires des cours d'eau navigables et non navigables d'entreprendre un programme de construction de passes à poissons sur les barrages du domaine géographique concerné, en accordant une priorité à l'axe Meuse-Ourthe afin de rendre ce grand domaine salmonicole Ourthe-Ambève accessible au saumon vers 2002.

Complémentairement à ces réflexions et actions concrètes dans le domaine du rétablissement de la libre circulation des poissons en rivière, furent entreprises à la fin des années 1980 une série d'études scientifiques sur la caractérisation, la préservation et la restauration de l'habitat physique (hydraulique, thermique, sédimentologique) des poissons (Philippart *et al.*, 1989; Philippart, 1990, 1997). C'est sur la base de ces acquis scientifiques qu'il fut possible de tenter d'intégrer dans les projets d'aménagement hydraulique des cours d'eau des recommandations concrètes et chiffrées pour préserver les habitats de reproduction et de développement des jeunes indispensables au maintien durable des populations et communautés de poissons dans les rivières assez rapides à fond de cailloux comme l'Ourthe. Ces données écologiques furent notamment utilisées dans l'Ourthe pour identifier des secteurs à ne pas draguer et pour définir des modalités d'exécution des dragages ayant un impact écologique et piscicole réduit (Philippart *et al.*, 1994).

■ Aménagement du territoire

Il est prévu de délimiter les zones inondables sur des bases plus élaborées que celles prises en compte à l'heure actuelle (cf. point 3.2.2.).

■ Aspect hydraulique et hydrologie

❖ Aspect hydrologique

Dans l'optique d'une gestion globale d'un bassin versant envisagée d'un point de vue instationnaire, il importe d'appré-

bution of the water supply in the network. Thus, the optimisation requires a series of numerical models, of which, the first one needed is a reliable hydrological one. The spectacular evolution of computers opens new horizons for the computation of hydrological flows on the catchments, in particular for methodologies based on direct modelisation of the thin water layer runoff.

For several years the Department of Hydrodynamics and Hydraulic Constructions has focused on the development of approaches oriented towards the physical realities of thin layer runoff. It has proved that a kinematic model was suitable to reflect the physical process followed by rain drops, from its pounding on the soil to its arrival in the draining network of the basin (Piroton, 1994).

Nevertheless the application of a non-linear model remains very limited and leads to substantial errors, as long as the potential presence of hydraulic flow discontinuities are not taken into account. These have consequently been analysed in order to come up with an accurate numerical approach dealing with theoretical and physical experiences as well as numerical realities.

Thus an original method has been proposed which refutes the traditional linear feature of classical models based on isochronous properties, effective rain or concentration time as catchment characteristics. The validity of this theory has been highlighted on many Belgian and foreign real catchments.

Working on some digitalised maps, two versions of the model have been developed, one based on the finite elements method, the other on the finite volume methods, in order to deal with spatial and temporal heterogeneities of rainfalls and land properties. Firstly, the domain, originally defined by a set of points, is numerically meshed. Secondly, the limits of the catchment are automatically determined and the drainage path generated. Then, the hydrological phase is computed to provide the temporal evolution of lateral discharges which supply the river network. Finally, a specific hydrodynamic phase propagates these hydrographs through the natural network to evaluate the water levels for normal events and during floods (see the following section).

More specifically one of the first applications of this model dealt with the Blanc Gravier basin, a small tributary of the lower Ourthe. Hydrological and hydrogeological studies were carried out on this site as soon as it was acquired by the University of Liège (Calembert *et al.*, 1970, Eskenazi, 1973). It was aimed to determine the water resources of the basin, to

luar de manera fiable las aportaciones a la red hidráulica a lo largo del tiempo. Así, la optimización pasa necesariamente por la utilización de una serie de modelos numéricos, cuyo primer eslabón está constituido necesariamente por un modelo hidrológico fiable. En este sentido, la evolución espectacular de las posibilidades informáticas abre nuevos horizontes en general a la modelización del flujo hidrológico en las cuencas vertientes, y en particular a los métodos que se refieren directamente a la escorrentía de una fina lámina de agua sobre el suelo.

Desde hace varios años, el Servicio de Hidrodinámica y de Construcciones Hidráulicas se dedica a desarrollar un modelo más orientado a las realidades físicas de dichos flujos hidrológicos en forma de láminas de pequeño espesor. Ha establecido la idoneidad del modelo cinemático para reflejar los procesos que experimenta la gota de lluvia, desde su impacto con el suelo hasta su llegada a la red de drenaje de la cuenca (Piroton, 1994).

Sin embargo, la aplicación de un modelo no-lineal sigue siendo muy limitada y conduce a errores importantes en la representación real, dado que no tiene en cuenta la presencia potencial de discontinuidades en el flujo. Se han analizado dichas discontinuidades, con objeto de conseguir una aproximación numérica fiable, tratando de conciliar las enseñanzas teóricas y físicas así como las realidades numéricas.

Así, se ha propuesto un método original que rechaza el carácter lineal habitual de los modelos clásicos basados en las propiedades de las isocronas, de la lluvia neta o del tiempo de concentración a la hora de caracterizar una cuenca vertiente. El fundamento de esta teoría se ha establecido en varias cuencas vertientes belgas y extranjeras a tamaño natural.

Se han desarrollado dos versiones: una por elementos finitos y otra por volúmenes finitos, con objeto de representar adecuadamente las variaciones espaciales y temporales de las precipitaciones y de las características del terreno. Después del mallado automático del sistema con una red de puntos cualesquiera, se determinan automáticamente los límites de la cuenca y se genera automáticamente la red de drenaje, antes de determinar los caudales transitorios que van a alimentar la red hidrográfica. Posteriormente, mediante un cálculo hidrodinámico específico, se propagan estos hidrogramas en una red cualquiera de ríos naturales, determinando los niveles en situación normal o de inundación (ver apartado siguiente).

Más específicamente, una de las primeras aplicaciones de este modelo ha sido la llevada a cabo en la cuenca del Blanc Gravier, que es un arroyo pequeño que alimenta el Ourthe inferior. Desde su adquisición por parte de la Universidad de Lieja

cier fiablement les apports dans le réseau au cours du temps. Ainsi, l'optimisation passe nécessairement par le recours à une succession de modèles numériques dont le premier maillon est nécessairement constitué par un modèle hydrologique fiable. Or l'évolution spectaculaire des capacités informatiques ouvre des horizons nouveaux pour la modélisation des écoulements hydrologiques sur bassins versants, en particulier pour les méthodes qui s'intéressent directement au ruissellement de la fine lame fluide sur le sol.

Depuis plusieurs années, le Service d'Hydrodynamique et de Constructions Hydrauliques s'attache à développer une approche davantage orientée sur les réalités physiques de ces écoulements hydrologiques en fine lame. Il a établi la pertinence du modèle cinématique pour refléter les processus que connaît la goutte de pluie, depuis son martèlement sur le sol jusqu'à son aboutissement dans le réseau drainant du bassin (Piroton, 1994).

Néanmoins, l'application d'un modèle non-linéaire demeure très limitée et conduit à de substantielles erreurs en topographie réelle aussi longtemps qu'est ignorée la présence potentielle de discontinuités dans l'écoulement. Celles-ci ont par conséquent été analysées afin de proposer une approche numérique fiable conciliant enseignements théoriques et physiques ainsi que réalités numériques.

Ainsi, une méthode originale a été proposée qui réfute le caractère linéaire habituel des modèles classiques basés sur les propriétés d'isochrone, de pluie nette ou de temps de concentration comme caractérisation d'un bassin versant. Le bien fondé de cette théorie a été établi sur plusieurs bassins versants grandeur nature belge et étrangers.

Travaillant sur des topographies quelconques digitalisées, deux versions ont été développées, une par éléments finis, l'autre par volumes finis, afin de gérer les variations spatiales et temporelles des précipitations et des propriétés de terrain. Après maillage automatique du système sur un grid de points quelconque, les limites du bassin sont automatiquement déterminées, le réseau drainant automatiquement généré avant de déterminer dans la phase hydrologique les débits latéraux transitoires qui vont alimenter le réseau hydrographique. Ensuite, une phase hydrodynamique spécifique propage ces hydrogrammes en réseau quelconque de rivières naturelles pour déterminer les niveaux en situation normale ou d'inondation (voir point suivant).

Plus spécifiquement, une des premières applications de ce modèle a concerné le bassin du Blanc Gravier, petit ruisse-

assess its hydrological balance and to determine the influence, on the original water cycle, of the building of the university campus. This study underlays an economical aspect through a suitable landuse suggested by hydrological and hydrogeological knowledge.

The applications carried out up to now have always highlighted the inherent advantages of a physical approach. The physical parameter values are easily fitted and their variations can easily reflect the overall impact of any modification of basin characteristics induced by human activities (Pirotton, 1996).

❖ Hydraulic aspect

In the framework of flood modelisation implying the floodplain, an original approach to compute flow exchanges between floodplain and channel is currently tested on the Ourthe basin. This study aims at better predicting flooded areas and, consequently, at evaluating more precisely the impact of planned solutions to reduce floods.

The usual approach to deal with this question consists in calculating the stationary water grade lines corresponding to the maximum flood discharge. Two fundamental problems arise when dealing with short floods:

- the computed water levels of the river show over-evaluated values when compared with the reality, even for unusual friction values. The experience of river managers and on-site visits reveal that they result from an unsuitable understanding of this kind of floods.
- the overbankings are so important that it is no longer licit to consider the flooded cross-section as hydraulically homogeneous. The flooded section of the floodplain does not contribute in the same way to overall discharge as that of the main channel.

A more complex calculation method, dealing with the eventual exchange between floodplain and channel is tested, in order to predict right overflow values when friction coefficients are maintained in usual values.

From this perspective, a first crucial aspect is not to account for overestimated discharge values in each section. Indeed, for this type of flood, it is very disadvantageous to

se han llevado a cabo estudios de carácter hidrológico e hidrogeológico en la citada cuenca (Calembert *et al.*, 1970; Eskenazi, 1973). La mencionada aplicación del modelo ha tratado de precisar los recursos hidráulicos, establecer el balance hídrico y determinar la influencia de la implantación del Campus Universitario en el ciclo original del agua. Este objetivo revestía igualmente un carácter económico, debido al papel que desempeña el conocimiento de las características hidrológicas e hidrogeológicas en los proyectos de modificación de la zona.

El conjunto de las aplicaciones llevadas a cabo hasta la actualidad han puesto siempre de manifiesto las ventajas inherentes a la representación física de los procesos, con un calibrado más fácil de los valores de los parámetros físicos, cuya variación puede reflejar fácilmente el impacto de cualquier modificación de las características de la cuenca debido a la actividad humana (Pirotton, 1996).

❖ Aspecto hidráulico

En el marco de la problemática actual de las inundaciones que implican la movilización del lecho de inundación del río, se está ensayando una modelización original de los procesos de intercambio entre el lecho menor y el lecho mayor a escala de la cuenca del Ourthe. Este estudio trata de prever mejor las zonas sumergidas y, en consecuencia, evaluar de manera más precisa el impacto de las soluciones propuestas para reducir las crecidas.

El tratamiento habitual de este tipo de problemas consiste en realizar el cálculo estacionario de la línea de agua asociada con el caudal máximo de la avenida. Procediendo de esta manera, se plantean dos problemas fundamentales a la hora de considerar crecidas de corta duración:

- Las líneas de agua así obtenidas presentan cotas exageradas en relación con la realidad, incluso para valores inusuales del coeficiente de rugosidad. La experiencia de los gestores fluviales y las visitas in situ confirman que se debe a una interpretación inadecuada de los procesos de este tipo de avenidas.
- Los fenómenos de desbordamiento son tales que no es lícito considerar la sección mojada como una sola sección homogénea, ya que la sección mojada del lecho mayor no contribuye de la misma forma que la del lecho menor al flujo global.

En relación con los intercambios eventuales entre el lecho mayor y el lecho menor, se ha ensayado un método de cálculo más complejo, proponiendo una forma de razonamiento que conduzca a valores de desbordamiento concordantes, manteniendo los coeficientes de rozamiento en los valores habituales.

au qui vient alimenter l'Ourthe inférieure. Des études hydrologique et hydrogéologique y ont été entreprises pratiquement dès son acquisition par l'Université de Liège (Calembert *et al.*, 1970, Eskenazi, 1973). Elle visait à préciser ses ressources en eau, à en établir le bilan et à Déterminer l'influence, sur le cycle originel de l'eau, de l'implantation du Campus Universitaire. Cette suggestion revêtait également un caractère économique par le rôle que joue la connaissance des caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques dans les projets de modification du site.

L'ensemble des applications entreprises jusqu'à présent ont toujours témoigné des avantages inhérents à une approche physique des processus, avec un calage plus aisé des valeurs des paramètres physiques dont la variation peut aisément refléter tout impact d'une quelconque modification des caractéristiques du bassin par l'activité humaine (Pirotton, 1996).

❖ Aspect hydraulique

Dans la problématique très actuelle des inondations impliquant la mobilisation du lit d'inondation de la rivière, une approche originale de modélisation des processus d'échanges lit mineur lit majeur est actuellement testée au niveau du bassin de l'Ourthe. Cette étude vise à mieux prévoir les zones immergées et, consécutivement, à évaluer plus précisément l'impact de solutions proposées pour réduire les crues.

L'approche habituelle pour traiter ce type de problème consiste à travailler par lignes d'eau stationnaires basée sur le débit maximum de crue du cours d'eau. Deux problèmes fondamentaux se manifestent en procédant de la sorte pour les crues de courte durée:

- Les lignes d'eau obtenues présentent des cotes exagérées par rapport à la réalité du terrain, même pour des valeurs de frottement hors norme. L'expérience des gestionnaires du cours d'eau et les visites sur site confirment qu'elles sont la manifestation d'une prise en compte inadéquate des phénomènes de ce type de crue.
- Les phénomènes de débordement sont tels qu'il n'est plus licite de considérer la section mouillée comme une seule section homogène, car la section mouillée du lit majeur ne contribue pas de la même façon à l'écoulement global que celle du lit mineur.

Une méthode de calcul plus complexe, gérant les éventuels échanges entre lit majeur et lit mineur est donc testée, de façon à proposer un mode de raisonnement qui conduit à des valeurs de débordement concordantes tout en maintenant les coefficients de frottement dans des valeurs usuelles.

suppose that the initial peak will not be smoothed when spreading downstream. This hypothesis can be assessed by adopting a transient approach that details the exchanges phenomena of flooding, modifying the hydrographs imposed upstream of the basin.

Transient models of river flows

The analytical integrating of three-dimensional Navier-Stokes equations along the flooded section is done by taking into account a predominant discharge direction parallel to the x-axis. The only hypotheses to integrate the equations on the cross-section consists in neglecting the square of the speeds perpendicular to the main flow axis in relation to the one along the longitudinal axis.

In order to deal with a large spectrum of flows and considering the variety of local discharges and water depths in the whole network, the numerical scheme has to discretise a fully conservative form of the basic set of equations.

The exchanges with the hydrological phase take place by lateral discharges into the river, without any momentum balance in the direction of preferential discharge. In other respects the local introduction of hydrographs can be simulated by the addition of small arms of fictitious rivers inserted either into existing confluences or in a new "confluence node".

Interaction processes between the floodplain and the channel

In the context of the present problematic situation of floods that affect the floodplain, a new modelization approach is being developed. It seeks to forecast more accurately the areas to be covered by water and, thus, to evaluate more precisely the usefulness of possible solutions to reduce the impact of floods.

Given that the approaches based only on conveyance considerations, with a fictitious separations between floodplain and channel, do not lead to decisive improvements, a more complex method of computation which has been developed manages the exchanges between floodplain and channel, in order to predict more real overflow values maintaining friction coefficients in usual values.

The transient effects in the exchanges between each flow component (channel and floodplain) appear fundamental when considering hydrographs smoothings by lateral storage along the water course. The 'history of this storage' as well as the progressive resupplying of discharge during the receding flood stage has to be precisely modelled.

Siguiendo con esta perspectiva, la observación más inmediata se refiere a la más que probable toma en consideración de un valor sobreestimado del caudal en cada sección. En efecto, en este tipo de avenidas, resulta demasiado desfavorable suponer que el pico inicial de la crecida no va a experimentar ningún tipo de laminación hacia aguas abajo. Esta hipótesis sólo puede ser mantenida si es el resultado de un análisis no estacionario del proceso que detalle los fenómenos transitorios y proporcione como resultado la modificación del hidrograma existente aguas arriba de la cuenca.

Modelización del flujo transitorio en ríos

La integración de las ecuaciones tridimensionales de Navier-Stokes sobre la sección mojada se lleva a cabo teniendo en cuenta una dirección predominante del flujo paralela al eje x. Las únicas hipótesis adoptadas para integrar las mencionadas ecuaciones se refieren a despreciar el cuadrado de las velocidades perpendiculares al eje principal en relación con el cuadrado de la velocidad paralela al eje longitudinal.

Habida cuenta del amplio espectro de posibles flujos a tener en cuenta y de la gama relativamente amplia de caudales y calados locales a considerar en el conjunto de la red, el esquema numérico debe basarse en una formulación totalmente conservadora de las ecuaciones utilizadas.

Las relaciones con el flujo puramente hidrológico tienen lugar generalmente como vertidos laterales hacia el río, sin aportación específica de cantidad de movimiento en el sentido del flujo preferencial. Por otro lado, las incorporaciones puntuales de hidrogramas se facilitan añadiendo pequeños brazos de ríos ficticios, que se insertan en confluencias existentes o, por el contrario, implican la introducción de un nuevo "nudo de confluencia".

Formas de interacción entre el lecho menor y el lecho mayor de ríos

En el marco de la problemática actual de las inundaciones que implican la movilización del lecho de inundación del río, se está ensayando una modelización original. Este estudio trata de prever mejor las zonas sumergidas y, en consecuencia, evaluar de manera más precisa el impacto de las soluciones propuestas para reducir el impacto de las crecidas.

Dado que las representaciones basadas exclusivamente en consideraciones de capacidad de transporte, con separaciones

Dans cette perspective, la remarque la plus immédiate concerne la prise en compte d'une valeur vraisemblablement surestimée du débit en chaque section. En effet, pour ce type de crue, il est trop défavorable de supposer que le pic initial ne va pas sensiblement s'écarter au cours de sa propagation vers l'aval. Nous ne pouvons étayer cette hypothèse qu'en adoptant une approche instationnaire du processus qui détaillera les phénomènes transitoires d'inondations en rendant la modification considérable de l'hydrogramme imposé à l'amont du bassin.

Modélisation des écoulements transitoires en rivière

L'intégration des équations tridimensionnelles de Navier-Stokes sur la section mouillée s'effectue en tenant compte d'une direction prédominante d'écoulement parallèle à l'axe x. Les seules hypothèses pour intégrer les équations sur la section transversale globale d'écoulement consistent à négliger tout carré de vitesses perpendiculaires à l'axe principal par rapport au carré de celle parallèle à cet axe longitudinal.

Compte tenu du large spectre d'écoulements potentiels à prendre en compte et de la gamme relativement large de débits et profondeurs locales à considérer sur l'ensemble du réseau, le schéma numérique doit s'appuyer sur une formulation totalement conservative des équations utilisées.

Les échanges avec l'écoulement purement hydrologique s'opèrent généralement par déversement latéral dans la rivière, sans apport explicite de quantité de mouvement dans le sens de l'écoulement préférentiel. Par ailleurs, des injections ponctuelles d'hydrogrammes s'opèrent par l'ajout de bras réduits de rivières fictives qui s'insèrent soit dans des confluences existantes ou qui au contraire impliquent l'introduction d'un nouveau "nœud de confluence".

Modes d'interactions entre lit mineur et lit majeur de rivières

Dans la problématique très actuelle des inondations mobilisant le lit d'inondation de la rivière, une approche originale de modélisation a été développée. Elle vise à mieux prévoir les zones immergées et, consécutivement, à évaluer plus précisément l'impact de solutions préconisées pour réduire l'impact des crues.

Dans la mesure où les approches basées sur des seules considérations de débitance n'apportent pas d'amélioration décisive, en se basant sur des séparations fictives de lit mineur

The computation of flooding areas and their exchanges with the channel can be supported by hypotheses which differ significantly.

In the modelisation of flows reduced to their longitudinal axis, a uniform or quasi-uniform distribution of the speed is assumed on the whole of the flooded cross-section. When a significant part of the latter includes the floodplain, this approach based on a 'weak' knowledge of the velocities distribution must be abandoned in order to take account these two possible hypotheses.

- The flow in compound channels (floodplain and channel) occurs in the main part of the water course, allowing the volumes stored in the floodplain to contribute to the main flow. In this case, the contribution to the discharge of each component of the bed are evaluated separately. The partitioning of the cross-section induces a fictive zone where shear tangential stresses occur because of speed gradients. The Prantl theory allows to take into account the reciprocal influence of both flows, which exchange transversal flows, by the method explained in the second variant (Figure 26).
- The occurrence of local flooding areas between which the entire flow returns to the channel leads to identify overbanking areas as natural storing basins, acting as death zones for the main flow. The dominating movements of the water result in transversal exchanges with the principal course. This situation is illustrated in Figure 27.

In most water courses to be analysed, we have to consider topographical specificities characterised by natural or artificial topographical barriers hampering the floodplain. Therefore, the second description was chosen to be applied for this test. This conclusion involves to modelise transient flows in the river with the dynamic evolution of lateral ponds and the variable exchanges of lateral discharge between the floodplains and the channel.

The management of flooding areas, the computation of the sign and the magnitude of lateral discharge are carried out as follows. Firstly, we consider the time when each free surface of 'lateral depth zones' is at the same level as the principal river course. In this case no exchange takes place between the two channels.

Secondly, if a level deficit arises on the side of the natural basins, an intake of water is induced and a lateral overflow occurs, scaled by the disequilibrium of level on the 'lateral weir'. On the other hand, during the receding flood stage an excess of water will occur in the basins, which will imply a resupplying of the channel from the storage zones. Other tran-

ficticias del lecho menor y mayor, no aportan mejoras decisivas, se ha desarrollado un método de cálculo más complejo para la gestión de los eventuales intercambios entre el lecho mayor y el menor, siguiendo un razonamiento que conduzca a valores de desbordamiento concordantes, manteniendo los coeficientes de rozamiento en los valores habituales.

La toma en consideración de la no-estacionariedad de los fenómenos en los procesos de intercambio entre los dos lechos es fundamental cuando se observan las modificaciones de los hidrogramas de crecida a lo largo del curso, debido a los almacenamientos. Tanto la evolución temporal del almacenamiento como la progresiva realimentación del flujo durante la fase de recesión de la crecida deben ser modelizados de manera precisa, con objeto de reproducir la curvatura característica de la señal inyectada aguas arriba y a lo largo del curso de agua.

El cálculo de las zonas inundables y de los intercambios que se producen entre éstas y el flujo principal puede basarse en hipótesis bastante diferentes.

En las hipótesis habituales sobre el flujo referidas a su eje longitudinal, se admite un reparto uniforme o cuasi-uniforme del mismo en el conjunto de la sección mojada. Cuando una parte significativa de esta última está compuesta por el lecho mayor, este método de cálculo debe desecharse, pasando a tener en cuenta alguna de las dos hipótesis siguientes:

- En la mayor parte del recorrido el flujo se desarrolla en secciones compuestas (lecho mayor, lecho menor), permitiendo realmente que los volúmenes almacenados en el lecho mayor formen parte del flujo. En este caso, las contribuciones relativas de cada parte del lecho se evalúan de manera separada, existiendo una zona ficticia de separación en la que se desarrollan tensiones tangenciales debidas al gradiente de velocidades. La teoría de Prantl permite entonces tener en cuenta la influencia recíproca de los flujos que intercambian corrientes transversales por el método que se comenta en la hipótesis siguiente (Figura 26).
- La presencia de zonas de inundación puntuales, entre las que el flujo recupera su curso habitual, lleva a identificar las zonas de desbordamiento como cuencas naturales de almacenamiento, que se comportan como de aguas cuasi-muertas en relación con el flujo axial preferencial. Los movimientos preponderantes del agua son el resultado de intercambios transversales con el curso principal. Esta situación se muestra en la Figura 27.

Teniendo en cuenta las peculiaridades topográficas de la mayor parte de los cursos de agua a considerar, caracterizados

et majeur, une méthode de calcul plus complexe, gérant les éventuels échanges entre lit majeur et lit mineur a été développée, de façon à proposer un mode de raisonnement qui conduit à des valeurs de débordement concordantes tout en maintenant les coefficients de frottement dans des valeurs usuelles.

La prise en compte de l'instationnarité des phénomènes dans les processus d'échanges entre le lits s'avère prépondérante lorsqu'on visualise les remaniements des hydrogrammes de crue au long des cours d'eau par suite des stockages. L'historique du stockage ainsi que la progressive réalimentation de l'écoulement en phase de décrue doivent être précisément modélisés afin de reproduire l'infléchissement révélateur du signal injecté à l'amont et le long du cours d'eau.

Le calcul des zones inondables et des échanges que celles-ci entretiennent avec l'écoulement principal peut s'appuyer sur des hypothèses qui diffèrent sensiblement.

Dans les hypothèses usuelles d'écoulement ramenés à leur axe longitudinal, on accepte une répartition uniforme ou quasi-uniforme sur l'ensemble de la section mouillée. Lorsqu'une fraction significative de cette dernière est composée par le lit majeur, ce mode de calcul par connaissance "faible" du diagramme des vitesses doit être abandonné pour tenir compte de deux hypothèses envisageables:

- L'écoulement en lits composés (lit majeur, lit mineur) se produit sur la majorité du parcours, permettant réellement aux volumes stockés dans le lit majeur de prendre part à l'écoulement. Dans ce cas, les contributions relatives de chaque lit sont évaluées séparément, avec une zone fictive de séparation où se développent des tensions de cisaillement issues d'un différentiel de vitesses. La théorie de Prantl permet alors de tenir compte de l'influence réciproque des écoulements qui échangent des flux transversaux par la même méthode que celle expliquée dans la seconde variante (Figure 26).
- La présence de champs d'inondations ponctuels entre lesquels l'écoulement reprend son cours habituel pousse davantage à identifier les zones de débordement comme des bassins naturels de stockage, agissant comme zones quasi-mortes vis-à-vis de l'écoulement axial préférentiel. Les mouvements prépondérants de l'eau résultent d'échanges transversaux avec le cours principal. Cette situation est illustrée à la Figure 27.

Compte tenu des spécificités topographiques de la majorité des cours d'eau à traiter, caractérisé par des barrières topographiques naturelles ou artificielles entravant le lit majeur, c'est cette seconde description que nous avons appliquée en guise

sient intermediate stages are conceivable, which involve resupplying or partial emptying depending on the topography and the local discharge circumstances (Figure 28).

Classical hydraulic laws govern these exchanges, with some representative parameters characterising the kind of overflow. References exist moreover in the literature which allow for reducing the field of physical values for the overflow coefficients within a reasonable scale.

por barreras topográficas naturales o artificiales que dificultan el paso en el lecho mayor, se ha aplicado la segunda de las descripciones indicadas, a modo de ensayo. Esta conclusión implica llevar a cabo una modelización no-estacionaria del río, que tenga en cuenta la evolución dinámica de las zonas laterales inundadas y los intercambios variables de caudal en dirección lateral, entre los lechos mayor y menor.

La gestión de las llanuras inundadas con la determinación del sentido y de la importancia de los caudales se lleva a cabo de la siguiente manera. Consideremos en un instante dado que las superficies libres de las "zonas muertas laterales" se encuentran al mismo nivel que el curso principal del río. En este caso, no se produce ningún intercambio entre las dos partes.

Si, por el contrario, existe un menor nivel en las cuencas naturales, se produce una alimentación de agua, en forma de vertido lateral, a consecuencia del desequilibrio de la lámina de agua. Por el contrario, durante la fase de recesión de la crecida, se pone de manifiesto un exceso de agua en las zonas laterales de la cuenca natural, lo cual provocará una realimentación del curso principal en detrimento de los almacenamientos. Cabe esperar fases transitorias intermedias, que impliquen realimentaciones o vaciados parciales, en función de la topografía y de las circunstancias locales del flujo (Figura 28).

Estos intercambios están gobernados por las leyes clásicas de la hidráulica, teniendo en cuenta algunos parámetros representativos del tipo de vertido. Por otro lado, existen referencias en la literatura especializada que proporcionan valores razonables de dichos coeficientes de vertido.

❖ *Determinación de los caudales de avenida*

La determinación de los caudales de crecida está basada generalmente en la utilización de curvas alturas-caudales en secciones de control (curvas de tarado). Ahora bien, estas curvas están establecidas frecuentemente para una gama de caudales frecuentes, que no incluye los valores extremos menos frecuentes. En estas condiciones, el único medio de interpretar los niveles de agua registrados durante las crecidas consiste en extrapolar la curva experimental hacia caudales altos. La amplia experiencia existente sobre comparación de cálculos numéricos - valores extrapolados - realidad física ha permitido llegar a la conclusión de que dicha práctica puede conducir a errores considerables en la estimación de caudales (Piroton, 1997). Actualmente se está ensayando un procedimiento original que permite minimizar los errores de evaluación de los parámetros característicos del flujo recurriendo a algoritmos de hidrodinámica de ríos.

de test. Cette conclusion implique de procéder à une modélisation instationnaire de la rivière qui tient compte de l'évolution dynamique des zones latérales inondées et des échanges variables de débit latéral entre lits majeur et mineur.

La gestion des plaines inondées avec la détermination du sens et de l'importance des débits latéraux s'effectue de la façon suivante. Considérons à un instant donné que les surfaces libres des "zones mortes latérales" se trouvent au même niveau que le cours principal de la rivière. Dans ce cas, aucun échange n'a lieu entre les deux parties.

Si, par contre, un déficit de hauteur se manifeste du côté des bassins naturels, un appel d'eau se produit et un déversement latéral s'installe, à l'image du déséquilibre de lame fluide. Par contre, lors de la décrue, un excès d'eau va se manifester dans les cotes des bassins, qui provoquera une réalimentation du cours principal au détriment des stockages. Des phases transitoires intermédiaires sont envisageables, qui impliquent des réalimentations ou des déstockages partiels, au gré de la topographie et des circonstances d'écoulement locales (Figure 28).

Les lois classiques de l'hydraulique régissent ces échanges, prenant en compte quelques paramètres représentatifs du type de déversement. Des références existent par ailleurs dans la littérature, qui permettent de maintenir le champ des valeurs possibles pour ces coefficients de déversement dans une gamme raisonnable.

❖ *Détermination expérimentale des débits de crue*

La détermination des débits de crue se base classiquement sur l'exploitation de courbes hauteurs-débits établies en des sections de contrôle (courbes de tarage). Or ces courbes sont fréquemment établies pour une gamme de débits usuels qui ne comprend pas les valeurs extrêmes des événements plus rares. Dans ces conditions, le seul moyen d'interpréter les hauteurs d'eau collectées en phase de crue consiste à extrapoler la courbe expérimentale vers les hauts débits. Une longue expérience de confrontation calcul numérique - valeurs extrapolées - réalité physique a permis de conclure qu'une telle pratique peut conduire à des erreurs d'appréciation de débit considérables (Piroton, 1997). L'idée est de minimiser ces erreurs en tirant parti des logiciels d'écoulement en rivière.

❖ *Determining flood discharges*

The determination of flood discharge is classically based on the use of water level-discharge curves in gauged sections. Currently these curves are frequently established for a series of common discharges which does not include the extreme values of infrequent events. In these conditions the sole way of interpreting the water levels in the flooding stage consists of extrapolating the experimental curve towards high discharges. A long experience of comparing numerical analysis/extrapolated values/physical reality has led to the conclusion that such a practice leads to considerable errors in appreciating the discharge (Piroton, 1997). An original procedure using results gained on gauged sections of the western Ourthe is at present being tested, which permits by objective methods of optimisation (resorting to hydrodynamic river softwares) to minimise errors in the evaluation of characteristic discharge parameters.

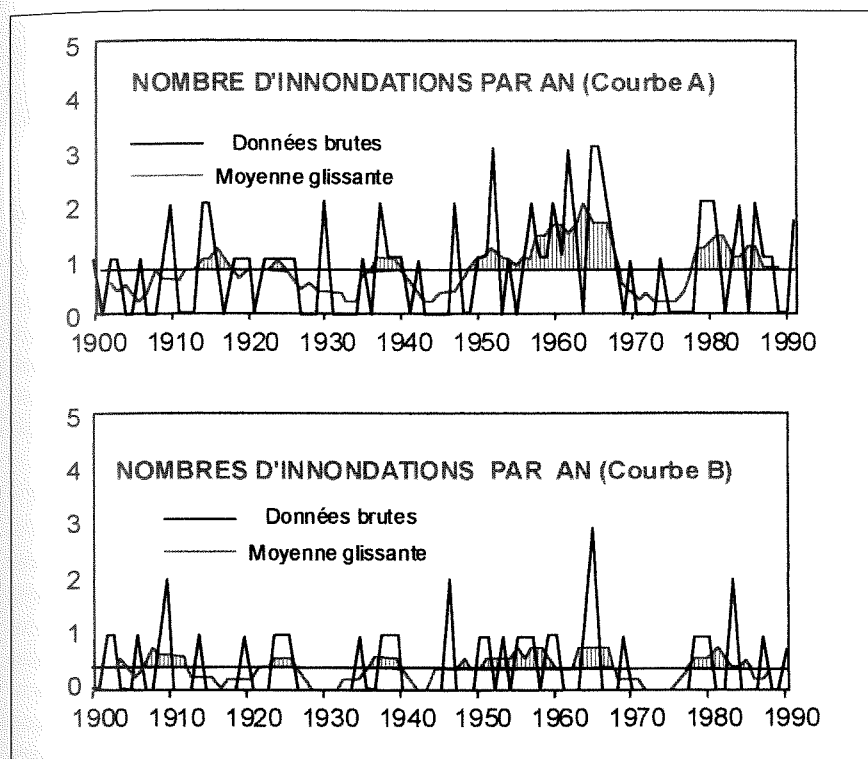


Figure 25. Evolution of flooding in the Ourthe basin, since the beginning of the 20th century (Pauquet et Petit, 1993)

Figura 25. Evolución de las inundaciones del Ourthe desde comienzos del siglo XX (según Pauquet y Petit, 1993)

Figure 25. Evolution des inondations de l'Ourthe depuis le début du XXe siècle (d'après Pauquet et Petit, 1993)

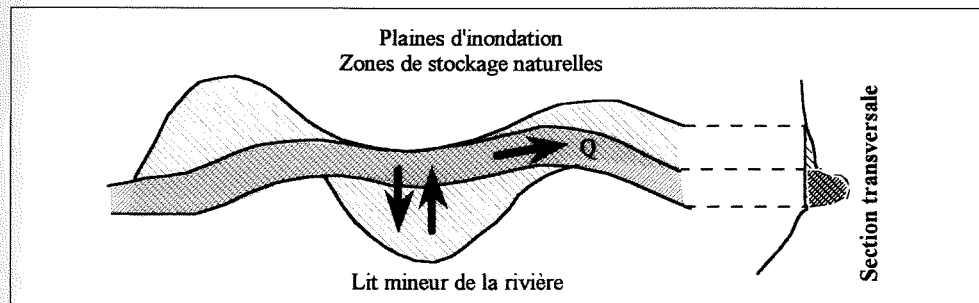


Figure 27. Flood discharge with lateral ponds. Computation of fluid exchanges between floodplains and channel

Figura 27. Flujo de crecida con zonas de almacenamiento lateral. Modelización numérica de los intercambios no estacionarios entre los lechos menor y mayor

Figure 27. Ecoulement de crue avec zones de stockages latérales. Modélisation numérique des échanges instationnaires entre lits mineur et majeur

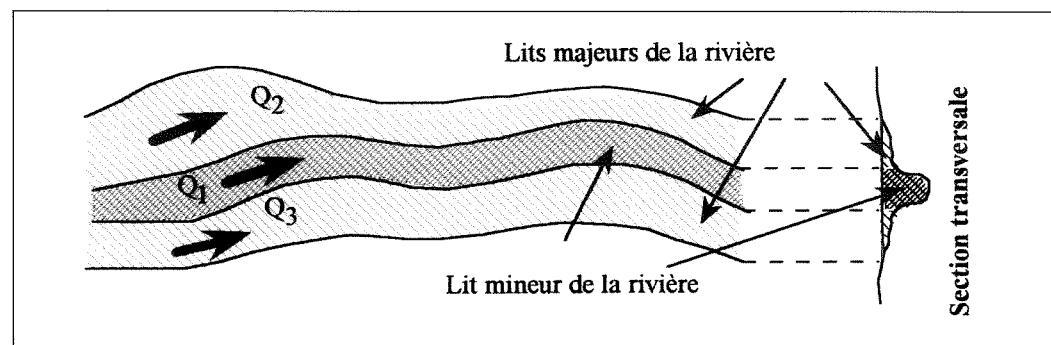


Figure 26. Flood discharge involving both the floodplain and the channel

Figura 26. Flujo de crecida que afecta tanto al lecho mayor como al menor

Figure 26. Ecoulement de crue impliquant tant le lit majeur que le lit mineur

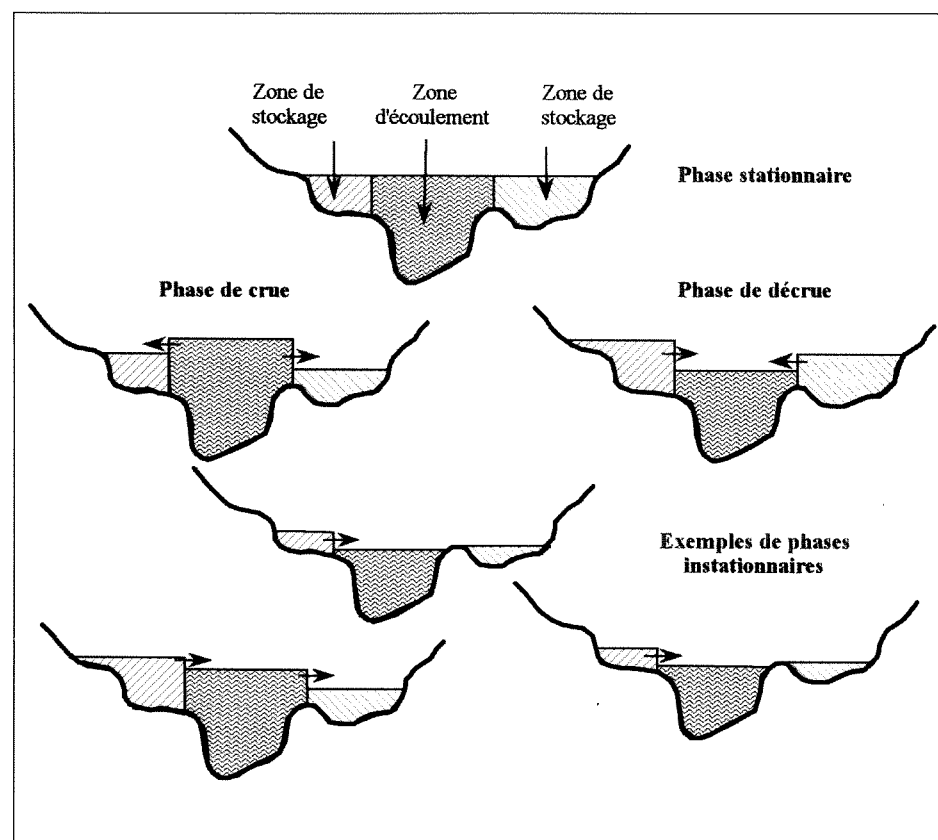


Figure 28. Modélisation of exchanges between lateral storage areas and the channel

Figura 28. Modelización de los intercambios entre las zonas de almacenamiento lateral y el lecho menor

Figure 28. Modélisation des échanges entre zones de stockages latérales et lit mineur

3.4. EVALUATION PROCEDURES

3.4.1. EVALUATION TECHNIQUES

3.4.2. EVALUATION CRITERIA

■ Costs / multicriteria analysis

This type of analysis has probably been used by the Electrabel company when examining the possibilities of using the Coo plants for peak discharge limiting purposes. The impacts on the production of energy when stocking capabilities are used by pumping have nevertheless never been revealed to the public.

■ Costs-profits of the projects

The costs of operations such as dredging and building peak discharge limiting dams must be compared with the potential economies to be made considering repeated financial interventions (Disaster Funds) during the latest big floods. Nevertheless, this type of reasoning does not constitute the governing principle, the latter being primarily framed by the public desire to be protected against floods. This last remark shows in other respects the significance of a relativised evaluation of effects in terms of real and predicted incidents and their recurrence.

3.4. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN

3.4.1. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN

3.4.2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

■ Costes / análisis multicriterio

Este tipo de análisis ha sido probablemente el utilizado para evaluar proyectos del tipo de los estudiados por la sociedad Electrabel en relación con la utilización de las instalaciones de Coo para laminación de crecidas. Las repercusiones en cuanto a la producción de energía cuando se utilizan las capacidades de almacenamiento por bombeo no han llegado nunca sin embargo a conocimiento del público.

■ Costes - beneficios de los proyectos

La estimación de los costes asociados a intervenciones tales como los dragados o la construcción de presas de laminación debe relacionarse con los ahorros potenciales por la ausencia de daños asociados con las recientes declaraciones de zonas catastróficas. Sería falso afirmar que este tipo de razonamiento constituye el motor principal, ya que es principalmente la presión de la población que desea estar protegida contra las inundaciones. Esta última observación muestra por otra parte la importancia de una evaluación de los efectos relativizados en términos de incidencias reales y previsibles y su período de retorno.

3.4. PROCEDURES D'EVALUATION

3.4.1. TECHNIQUES D'ÉVALUATION

3.4.2. CRITÈRES D'ÉVALUATION

■ Coûts / analyse multicritères

Ce type d'analyse a vraisemblablement eu lieu pour évaluer des projets du type de ceux étudiés par la société Electrabel pour l'utilisation des installations de Coo à des fins d'écrêtement de crues. Les répercussions pour la production d'énergie lorsque les capacités de stockage sont utilisées par pompage n'ont cependant jamais été révélées dans le domaine public.

■ Coûts - bénéfices des projets

L'estimation des coûts pour des interventions comme des dragages ou l'édification des barrages écrêteurs doit être mise en rapport avec les économies potentielles à réaliser sur les interventions récurrentes du fonds des calamités pour les dernières grandes catastrophes. Il serait cependant faux de prétendre que ce type de raisonnement constitue le moteur principal, celui-ci restant principalement la pression de la population souhaitant être protégée contre les inondations. Cette dernière remarque montre d'ailleurs l'importance d'une évaluation des effets relativisés en terme d'incidences réelles et prévisibles et de leur récurrence.

4. CONCLUSIONS

4.1. MATERIAL CONSEQUENCES OF OPERATIONS ON THE RIVERS

Operations such as the retention and the reduction existing dams height, the installation of weirs and dykes, and dredging help to control floods without arresting their effects completely. No flooding of the Ourthe has nevertheless had devastating effects in terms of victims and material damage in comparison with catastrophic events which occur in other regions. Nevertheless one should be aware that certain catchment development practices (regrouping of agricultural land, the generalisation of sewage projects for the next decade) risk having negative impacts on the basins response to rainfalls. In other respects, the recent installation of residential camp sites in areas at risk of inundation as well as a badly controlled urbanisation could lead public authorities to reconsider the way rivers and of flooding areas are managed and to take radical measures.

4.2. LIMITATIONS OF OPERATIONS ON THE RIVERS

Allocation of budgets by regional authorities remain a priority but the amount of money appears strongly limited in relation to expectations. These priorities change depending of the occurrence of big inundations, which cause local damage but generate public awareness on a larger scale about protection works to be carried out.

Against the primary desire of people to be protected, there is always the difficulty of accepting the solutions, at times very difficult, which are technically recognised to be most appropriate. Thus, in the Ourthe valley, the request of the inhabitants to be protected has created a research and mana-

4. CONCLUSIONES

4.1. CONSECUENCIAS MATERIALES DE LAS ACTUACIONES EN LOS RÍOS

Globalmente, el conjunto de intervenciones tales como la retención y el rebaje de las presas existentes, la instalación de presas móviles, los encauzamientos, los dragados, se han justificado por una modificación favorable en cuanto al control de las inundaciones, por lo que no han podido ser anuladas totalmente. Ninguna crecida del Ourthe ha producido nunca víctimas y los daños materiales son limitados en relación con los que se producen en otras regiones. No hay que perder de vista sin embargo que algunas prácticas de ordenación de la cuenca (concentración parcelaria de tierras agrícolas, generalización del saneamiento en el próximo decenio) tienen el riesgo de producir en último término un efecto negativo en cuanto a la respuesta de la cuenca a las precipitaciones. Por otro lado, la instalación reciente, en zonas de riesgo, de campings, así como una urbanización mal controlada, lleva a los poderes públicos a reconsiderar la gestión del río y de las zonas inundables y a prever medidas más radicales.

4.2. LIMITACIONES DE LAS ACTUACIONES EN LOS RÍOS

La decisión sobre los gastos a nivel regional se desarrolla en función de las prioridades, ya que los medios son escasos en relación con las demandas. Estas prioridades evolucionan principalmente en función de las catástrofes, en tanto en cuanto los desastres a menudo locales originan tomas de conciencia a mayor escala sobre las obras de protección a evaluar con períodos de retorno muy variables.

Frente al primer deseo de ser protegido, se presenta siempre la dificultad de aceptar la solución, a veces dura, que se revela como la más adecuada técnicamente. Así, a nivel del Ourthe, la presión de los habitantes para ser protegidos ha

4. CONCLUSIONS

4.1. CONSÉQUENCES MATÉRIELLES DES ACTIONS SUR LES RIVIÈRES

Globalement, l'ensemble des interventions telles que la rétention et l'écrêtement dans les barrages existants, l'installation de barrages mobiles, les endiguements, les dragages, se sont soldées par une modification favorable de la maîtrise des inondations sans pour autant pouvoir les juguler totalement. Aucune crue de l'Ourthe n'a cependant jamais d'effet dévastateur en terme de victimes et les dégâts matériels restent limités par rapport à ce qui survient dans d'autres régions. Il ne faut cependant pas perdre de vue que certaines pratiques d'aménagement du bassin versant (remembrement des terres agricoles, généralisation de l'égouttage programmé pour la prochaine décennie) risquent d'avoir à terme un effet négatif sur la réponse du bassin aux précipitations. Par ailleurs, l'installation récente, dans des zones à risque, de terrains de camping parfois à caractère résidentiel ainsi qu'une urbanisation mal contrôlée amènent les pouvoirs publics à reconsidérer la gestion de la rivière et des zones inondables et à envisager des mesures plus radicales.

4.2. LIMITATIONS DES ACTIONS SUR LES RIVIÈRES

Le choix des dépenses s'opère au niveau régional en fonction des priorités, les moyens restant forcément limités par rapport aux attentes. Ces priorités évoluent notamment au gré des catastrophes, dont les méfaits parfois locaux engendrent des prises de conscience à plus large échelle sur les travaux de protection à évaluer pour des périodes de retour très variables.

Face à un premier désir d'être protégé se présente toujours la difficulté d'accepter la solution, parfois lourde, qui s'avère techniquement la plus appropriée. Ainsi, au niveau de l'Ourthe, la pression des autochtones pour être protégés a créé une dynamique d'étude au niveau du bassin qui s'est concrétisée par l'é-

gement dynamism in the basin which materialised in projects of peak discharge limiting dams, but these projects were immediately contested. People often have strong doubts at the moment of implementing hydraulic modifications and constructions.

4.3. RIVER RESTORATION OPERATIONS

The Ourthe and its tributaries, with the exception of the Vesdre and a part of the Amblève which are affected by industrial pollution, are currently exhibiting a relatively good ecological health, notably in terms of fish populations. The setting up of a sewage water purification programme, according to the EEC regulations, must lead in the next years to an appreciable reduction of the strongest cases of pollution and allow a restoration of a natural ecology in the water courses or reaches concerned. As for as restoring physical aquatic habitats, the priority has been, through the "Meuse Saumon 2000" programme, the generalised re-establishment of free fish migration in the navigable (plans and finance already furnished) and non-navigable (plans and finance being set up) water courses. The physical restorations of water courses tending towards the reconstruction of reaches degraded by canalisation-channelisation are carried out with much less harshness in the Ourthe basin as such modifications are relatively infrequent. When they occur, across towns and villages for example, it is difficult and certainly not a priority to modify the approach. This does not exclude however local restoration operations on experimental pilot schemes.

It is evident that in a basin such as the Ourthe the absolute priority must be to carry out maximum preservation of aquatic habitats in their present state. This objective can be achieved thanks to appropriate legislative measures (protection of the habitat of threatened species) and hydraulic anti-flood maintenance and development works being kept to a minimum and adapted in their nature and method of execution, in order to sustainably preserve hydro-ecological balances.

creado una dinámica de estudio a nivel de la cuenca, que se ha concretado en el estudio de presas de laminación que han sido rápidamente criticadas. A menudo existe un freno de la población a la hora de realizar modificaciones y construcciones hidráulicas en sentido amplio.

4.3. ACTUACIONES DE RESTAURACIÓN DEL RÍO

El Ourthe y sus afluentes, con excepción del Vesdre y de una parte del Amblève, afectados estos últimos por la contaminación industrial, se encuentran actualmente en un estado ecológico relativamente bueno, principalmente en términos de poblaciones piscícolas. La puesta en marcha de un programa de depuración de aguas residuales, para hacer frente a obligaciones impuestas por la CEE, debería conducir, en los próximos años, a una reducción sensible de las mayores contaminaciones y a favorecer una restauración ecológica natural de los cursos de agua afectados, o de tramos de los mismos. En materia de restauración de los hábitats físicos acuáticos, con motivo del programa "Meuse Saumon 2000", se ha considerado prioritario el restablecimiento generalizado de la libre circulación de los peces en los cursos de agua navegables (programación y financiación ya previstas) y no navegables (programación y presupuesto en curso). Las formas de restauración física de cursos de agua que afectan a la reconstrucción de tramos degradados por obras de canalización son poco acuciantes en la cuenca del Ourthe, ya que dichas modificaciones son relativamente poco frecuentes y, cuando existen, por ejemplo en la travesía de poblaciones, es difícil y ciertamente no prioritario modificar las cosas. Eso no excluye sin embargo prever actuaciones locales con carácter de demostración y de actuación piloto experimental. Es evidente que en una cuenca como la del Ourthe la prioridad absoluta se debe dirigir hacia la protección de los hábitats acuáticos en su estado actual mediante medidas legislativas apropiadas (protección del hábitat de las especies amenazadas) y de mantenimiento y acondicionamiento hidráulicos anti-inundación reducidas al mínimo y adaptadas, en lo que se refiere a su tipo y a su modalidad de ejecución, a la necesidad de proteger de manera duradera los equilibrios hidro-ecológicos.

tude de bassins écreteurs rapidement contestés. Il existe souvent un frein de la population au moment de réaliser des modifications et des constructions hydrauliques au sens large.

4.3. ACTIONS DE RESTAURATION DE LA RIVIÈRE

L'Ourthe et ses affluents, à l'exception de la Vesdre et d'une partie de l'Amblève affectées par la pollution industrielle, se trouvent actuellement dans un état écologique relativement bon, notamment en terme de peuplement de poissons. La mise en place d'un programme d'épuration des eaux usées devant répondre aux obligations de la CEE devrait conduire dans les prochaines années à une réduction sensible des pollutions les plus fortes et favoriser une restauration écologique naturelle des cours d'eau ou tronçons de cours d'eau concernés. En matière de restauration des habitats physiques aquatiques, la priorité a été mise, à l'occasion du programme "Meuse saumon 2000", sur le rétablissement généralisé de la libre circulation des poissons dans les cours d'eau navigables (programmation et financement déjà acquis) et non navigables (programmation et budgétisation en cours). Les formes de restauration physique des cours d'eau portant sur la reconstruction de tronçons dégradés par des travaux de canalisation-chenalisation se posent avec beaucoup moins d'acuité dans le bassin de l'Ourthe car de telles modifications sont relativement peu fréquentes et, lorsqu'elles existent, par exemple dans la traversée des agglomérations, il est difficile et certainement non prioritaire de modifier les choses. Cela n'exclut toutefois pas d'envisager des actions locales de restauration ayant valeur de démonstration et d'action pilote expérimentale. Il est évident que dans un bassin comme celui de l'Ourthe, la priorité absolue doit être mise sur la préservation maximale des habitats aquatiques dans leur état actuel grâce à des mesures législatives appropriées (protection de l'habitat des espèces menacées) et des entretiens et aménagements hydrauliques anti-inondation réduits au minimum et adaptés dans leur nature et leur modalité d'exécution à la nécessité de préserver durablement les équilibres hydro-écologiques.

BIBLIOGRAPHY
BIBLIOGRAFÍA
BIBLIOGRAPHIE

- Ancion, L. 1977. Contribution à l'écologie de la tourbière de la Fagne Wallonne. Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 82 p.
- Andrews, E.D. 1983. Entrainment of gravel from naturally sorted riverbed material. Geol. Soc. Am. Bull., 94, 1225-1231.
- Alexandre, J., 1956. L'Ardenne centrale et sa bordure septentrionale. Etude de géomorphologie. Thèse doctorat Sc. Géogr., Univ. Liège, 227 p.
- Assani, A.A., 1997. Recherche d'impacts d'une retenue sur le comportement d'une rivière ardennaise: hydrologie, sédimentologie, morphologie, végétation; Le cas du barrage de Butgenbach sur la warche (Belgique). Thèse doctorat Sc. Géogr., Univ. Liège, 482 p.
- Assani, A.A. et petit, f., 1995. Log-jam effects on bed-load mobility from experiments conducted in a small gravel-bed forest ditch. Catena, 25, 117-126.
- Asselberghs, E., 1946. L'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines. Mémoires Inst. Géol., Univ. Louvain, 14, 598 p.
- Bamboneyo, J.M., 1995. Etude des variations du régime de l'Ourthe inférieure de 1920 à 1993, à travers l'analyse des précipitations et des débits mensuels, Mém. Maitrise Géol. Terrains superficiels, Univ. Liège, 94 p.
- Baras, E. et Philippart, J.C. (Eds), 1996. Underwater biotelemetry. Proceedings of the First Conference and Workshop on Fish Telemetry in Europe, Univ. Liège, 4-6 April 1995, 257 p.
- Baras, E., Philippart, J.C. et Nindaba, J., 1996. Importance of gravel bars as spawning grounds and nurseries for European running water cyprinids, pp. 367-378. In: Leclerc, M. et al. (eds), Proceedings of the second IAHR Symposium on Habitat Hydraulics, Ecohydraulics 2000, Québec (Canada), published by INRS-Eau, Vol. A, 893 p.
- Bastin, B., Juvigné, E., Pissart, A. et Thorez, J., 1972. La vallée de la Soor (Hautes-Fagnes): compétence actuelle de la rivière, dépôts glaciaires ou périglaciaires. In Les Congrès et Colloque de l'Univ. Liège: processus périglaciaires, comptes rendus de la réunion conjointe des Commissions de l'Union géographique internationale pour l'étude de la Géomorphologie périglaciaire et pour l'étude des processus géomorphologiques actuels. P. Macar et A. Pissart (Eds), 295-321.
- Bolline, A., 1982. Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en Moyenne Belgique. Thèse doctorat Sc. Géogr., Univ. Liège, 356 p.
- Bolline, A., Laurant, A. et Boon, W., 1979. L'érosivité des précipitations à Florennes, révision de la carte des isohyètes et de la carte d'érosivité de la Belgique, Bull. Soc. Géogr. Liège, 15, 77-99.
- Bravard, J.P. et Petit, F., 1997. Les cours d'eau: dynamique du système fluvial; Collection U, Armand Colin (Paris), 222 p.
- Brendel, J., 1967. Contribution à l'étude géomorphologique de la région qui s'étend entre Durbuy et Bomal-sur-Ourthe. Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 162 p.
- Bultot, F. et Dupriez, G.L., 1972. Étude hydrométéorologique des précipitations sur les bassins hydrographiques belges (III) Bassin de l'Ourthe, Publ. IRM série A, 72, 69 p.
- Bultot, F. et Dupriez, G.L., 1973. Étude hydrométéorologique des précipitations sur les bassins hydrographiques belges (V) Bassin de l'Amblève, Publ. IRM série A, 79, 62 p.
- Bultot, F. et Dupriez, G.L., 1973. L'évapotranspiration potentielle des bassins hydrographiques en Belgique. Publ. IRM série A, 85.
- Bultot, F., Dupriez, G.L. et Bleiman, N., 1975. Étude hydrométéorologique des précipitations sur les bassins hydrographiques belges (VI) Bassin de la Vesdre, Publ. IRM, 93, 72 p.
- Bultot, F., Coppens, A., Dupriez, G.L., Gellen, D. et Meulenberghs, F., 1988. Répercussions of a CO₂ doubling on the water cycle and on the water balance. A case study for Belgium, Journal of Hydrology, 99, 319-347.
- Calembert, L., Pel, J., Monjoie, A. et Eskenazy, E., 1970. Etude hydrologique et hydrogéologique du Sart Tilman. Bassin du ruisseau du Blanc Gravier, Première partie. Collection des publications de la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège.
- Charlier, C., 1970. La plaine alluviale de la Haute Amblève. Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 174 p.
- Charlton, F.G., Brown, P.N. et Benson, R.W., 1978. The hydraulic geometry of some gravel rivers in Britain, Hydraulics Research Station Report IT 180, 48 p.
- Christians, C. et Daels, L., 1988. Belgium, A geographical introduction to its regional diversity and its human richness, Bull. Soc. Géogr. Liège, 24, 3-180.
- Close-Lecocq, J.F., 1981. Les transports en suspension de la Meuse à Liège et à Tailfer, Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 184 p.
- Close-Lecocq, J.F., Pissart, A. et Koch, G., 1982. Les transports en suspension et en solution de la Meuse à Liège et à Tailfer (amont de Namur), Bull. Soc. Géogr. Liège, 18, 5-18.
- Cornet, Y., 1995. L'encaissement des rivières ardennaises au cours du Quaternaire, In: L'Ardenne: Essai de Géographie Physique. Livre en hommage au Professeur Pissart, demoulin, a. (Ed.), 155-177.
- Dalem, R. et Nelissen, A., 1973. Mille ans de navigation sur l'Ourthe et ses affluents, Ed. Petitpas, Bomal, 191 p.
- Dave, C., 1975. Etude de la dynamique fluviale d'un petit ruisseau de type torrentiel. Mém. Lic.Sc. Géogr, Univ. Liège, 148 p.
- De Béthune, P., 1961. Géologie de Belgique. Atlas de Belgique. Académie Royale de Belgique, Bruxelles.
- Denil, G., 1909. Les échelles à poissons et leur application aux barrages de Meuse et d'Ourthe. Annales des Travaux publics de Belgique, Fascicule 2 (avril 1909), 152 p.
- Deroanne, C., 1995. Dynamique fluviale de la Hoëgne. Evaluation longitudinale des caractéristiques sédimentologiques du lit et des paramètres de mobilisation de la charge de fond. Mém. Lic.Sc. Géogr, Univ. Liège, 155 p.
- Descy, J.P., 1992. Qualité des eaux de surface en Wallonie. Tribune de l'Eau, 555 (1), 53-57.
- Descy, J.P. et Empain, A., 1981. Inventaire de la qualité des eaux courantes en Wallonie (Bassin wallon de la Meuse). Rapport de synthèse, Univ. Liège. I, 87 p.; II, 194 p.; III, 37 p.
- De Selys-Longchamps, E., 1842. Faune belge. 1ère partie. Indication méthodique des Mammifères, Oiseaux, Reptiles et Poissons observés jusqu'ici en Belgique, Editions Derouaux, Liège, 391-402.

- Désir, M., 1979. Enquête sur la pollution de l'Ourthe par le mercure. *In*: Calembert L., Problématique et gestion des eaux intérieures, Actes du Colloque de Liège, 16-19 mai 1978. Ed. Derouaux, Liège, 391-402.
- Dethioux, M., 1989. Aménagement écologique des cours d'eau. A. Espèces herbacées du bord des eaux, 72 pages. B. Espèces aquatiques des eaux courantes, 143 pages. C. Espèces ligneuses de la berge, 80 pages. Inspection générale de l'Eau de la Région wallonne.
- Duchesne, F. et Pissart, A., 1985. Valeurs statistique des comptages de cailloux de différentes lithologies. Applications aux alluvions actuelles de l'Ourthe, *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 21, 13-23.
- Dumont, J.M., 1979. Première datation d'un tertre d'orpaillage en Ardenne, Glain et Salm, Haute-Ardenne, 10, 87-88.
- Dumont, J.M., 1980. Orpaillage celtique à l'époque de la Tène au plateau des Tailles, Glain et Salm, Haute Ardenne, 13, 42-45.
- Ek, C., 1957. Les terrasses de l'Ourthe et de l'Amblève inférieures. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 80, 333-353.
- Emmett, W.W., 1975. The channels and waters of the Upper Salmon River area, Idaho, US Geol. Survey Prof. Paper 870A, 116 pp.
- Eskenazy, E., 1973. Etude hydrologique du Sart Tilman, Bassin du ruisseau du Blanc Gravier, deuxième partie. Mémoires CERES, Université de Liège, 479 pages.
- Everbecq, P., 1977. Observations climatologiques dans une tourbière des Hautes Fagnes, *Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège*, 95 p.
- Fabri, R., 1977. Végétation, production primaire et caractéristiques physico-chimiques d'une rivière de Haute Ardenne (Belgique): la Warche supérieure. *Lejeunia* (nouvelle série), 87, 1-43.
- Fabri, R. et Leclercq, L., 1977. Végétation et caractéristiques physico-chimiques des eaux de trois rivières de Haute-Ardenne (Belgique): la Helle, la Roer et la Warche. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, 110, 202-216.
- Fabri, R. et Leclercq, L., 1979. Flore et végétation algales des ruisseaux de la Réserve domaniale des Hautes Fagnes (province de Liège, Belgique). Service de la Conservation de la Nature, trav. 11, Ed. Duculot, Gembloux, 48 p.
- Ferguson, R., 1981. Channel forms and channel changes, *in* British Rivers, LEWIN J. (Ed.), Allen et Unwin, 90-125.
- Franchimont, C., 1993. Dynamique fluviale de la Lesse: Fréquence des inondations, morphométrie des méandres et sédimentologie du lit, *Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège*, 121 p. + annexes.
- Gellens, D., 1991. Impact of CO₂ induced climatic change on river flow variability in three rivers in Belgium, *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 619-625.
- Gens, E., 1985. Notions sur les poissons d'eau douce de Belgique. La pisciculture, l'exploitation, l'entretien, le repeuplement des eaux. Publication du Ministère de l'Agriculture, de l'Industrie et des Travaux publics, Bruxelles, 102 p.
- Gérard, P., 1995. Les objectifs de qualité pour les eaux piscicoles de la Région wallonne. Communication présentée à Journée d'information Internationale "Meuse Saumon 2000", Univ. Liège, 13 septembre 1995.
- Godefroid, J., 1980. Etude géomorphologique des vestiges d'orpaillage dans le bassin de la Haute-Amblève. *Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège*.
- Henrottay, J., 1973. La sédimentation de quelques rivières belges au cours de ces derniers siècles, *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 9, 101-115.
- Herman, D., 1985. Etude des potentialités salmonicoles et de la qualité biologique des eaux de surface du sud-est de la Belgique. Rapport de synthèse. Union des Pêcheurs de l'Ourthe et de l'Amblève et Service Etudes et Promotion -Communication de l'Inspection générale de l'Eau de la Région Wallonne, Namur, 2 volumes: 1084 p.
- Herman, D., 1994. Suivi du fonctionnement des frayères artificielles des lacs de Robertville et Warfaaz. Rapport d'études au Fonds piscicole du Ministère de la Région wallonne.
- Hey, R., 1986. River mechanics, *Journal of the institution of water engineering and Scientists*, 40(2), 139-158.
- Huet, M., 1941. Esquisse hydrobiologique des eaux piscicoles de la Haute-Belgique. Travaux de la Station de Recherches des Eaux et Forêts de Groenendaal, 40 pages.
- Huet, M., 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Revue Suisse d'Hydrologie*, Vol. XI (3-4), 332-351.
- Huet, M. et Timmermans, J.A., 1966. La population piscicole de l'Ourthe (grosse rivière belge de la zone à ombre et du type supérieur de la zone à barbeau). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 16, 1192-1203.
- Huet, M. et Timmermans, J.A., 1976. L'influence sur les populations de poissons des aménagements hydrauliques de petits cours d'eau assez rapides. *Trav. Stat. Rech. Eaux et Forêts Groenendaal*, série D, 46, 1-27.
- Juvigné, E., 1964. Etude géomorphologique dans la région de Noisieux, *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 87, 263-270.
- Juvigné, E., 1977. Déflation éolienne sur les alluvions de l'Ourthe au Pléistocène, *Rev. belge Géogr.*, 101, 175-185.
- Juvigné, E., 1979. L'encaissement des rivières ardennaises depuis le début de la dernière glaciation. *Z. Géomorphol.*, 23, 291-300.
- Komar, P.D., 1987. Selective grain entrainment by a current from a bed mixed sizes: a reanalysis. *J. Sedim. Petrol.*, 57, 203-211.
- Lamalle, C., Petit, F., Koch, G., Hurtgen, C. et Pissart, A., 1989. Les transports en suspension et en solution dans la Burdinale, affluent principal de la Meuse. *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 25, 39-51.
- Laurant, A., 1974. La récurrence des intensités maximums des précipitations dans la région de Spa - Eupen. Courbes d'intensité - durée - fréquence, *Ann. Trav. Publics Belg.*, 5, 319-331.
- Lefevre, M.A., 1956. Oro-hydrographie, morphologie, lithologie et coupes morphologiques. Atlas de Belgique. Académie Royale de Belgique, Bruxelles.

- Lemin, G., 1984. Contribution à l'étude des transports solides dans les rivières du bassin de la Meuse (Meuse, Ourthe, Hoëgne). Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 183 p.
- Lemin, G., Koch, G., Hurtgens, C. et Pissart, A., 1986. Les transports en suspension de la Meuse, l'Ourthe et la Hoëgne, Bull. Soc. Géogr. Liège, 23, 39-61.
- Libois, R. et Hallet, C., 1995. Situation actuelle de la loutre, *Lutra lutra* en Belgique et problématique de sa conservation. *Cahiers d'Ethologie*, 15 (2-3-4), 157-168.
- Linotte, S., 1995. Étude hydrologique et économique des inondations. Cas de l'Ourthe inférieure, Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 98 p.
- Marneffe, Y., Bussers, J.C., Louvet, M. et Thomé, J.P., 1995a. La qualité physico-chimique et biologique de la Warche et son incidence sur l'Amblève. Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 64 (2), 77-103.
- Marneffe, Y., Bussers, J.C. et Thomé, J.P., 1995b. Etat de santé des rivières ds Hautes-Fagnes Eifel: incidence des activités humaines sur la qualité des eaux. Etude du pouvoir auto-épura-
teur. Rapport de recherche de l'Unité d'Ecotoxicologie des Milieux Terrestres et Aquatiques, Univ. Liège, 62 p.
- Mbuyu, N., 1989. Etude des paramètres influençant les relations pluie-débit Modèle de prévision des crues. Applications aux bassins alimentant le lac d'Eupen: Helle, Getz et Vesdre. Thèse
doctorat Sc. Géogr., Univ. Liège, 302 p.
- Mbuyu, N. et Petit, F., 1990. Comportement hydrologique de deux bassins versants se différenciant par leur couvert végétal et leur épaisseur de tourbe. Bull. Soc. belge Etudes Géogr., 59
(2), 261-274.
- Mercenier, J., 1973. Dynamique fluviale dans un petit bassin du rebord méridional du plateau des Tailles. Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 148 p.
- Mergen, P., Kestemont, P., Micha, J.C., Evrard, A., Gérard, P., Demol, P., Philipaprt, J.C., Rimbaud, G., Frank, V. et Crahay, R., 1997. Etude des populations piscicoles dans les lacs de
Robertville et de Butgenbach. Communication à la Cinquième Conférence Internationale des Limnologues d'Expression française (CILEF 5), Namur 7-11 juillet 1997, Résumés, p 140.
- MET, 1992. Evaluation des travaux nécessaires à la libre circulation des poissons sur la Meuse et l'Ourthe. Rapport de la Commission interministérielle 'Echelles à Poissons'. Ministère de
l'Equipeement et des Transports (M.E.T.) et Ministère de l'Environnement, Région wallonne, Bruxelles, 26 p.
- Meunier, C., 1996. Extension des zones inondables de l'Ourthe en relation avec les aménagements et l'occupation du lit majeur., Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 205 p.
- Micha, J.C., 1970a. Etude des populations d'Invertébrés de l'Ourthe liégeoise. Etude du milieu. Tribune du Cebedeau, 23-315, 62-75.
- Micha, J.C., 1970b. Etude qualitative des associations d'Invertébrés de l'Ourthe liégeoise. Annales Soc. Zool. Belg., 99 (4), 215-236.
- Micha, J.C., 1971 a. Etude quantitative du benthos d'une rivière de Belgique: l'Ourthe liégeoise. Annales de Limnologie, 6 (3), 255-280.
- Micha, J.C., 1971b. Etude des communautés piscicoles dans l'Ourthe liégeoise. Tribune du Cebedeau, 326, 1-8.
- Micha, J.C., 1985. Obstacles à la remontée du saumon dans le bassin mosan en Belgique. *In*: Réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Service de la Pêche, Ministère
de la Région wallonne, 69-101.
- Michel, R., 1994. L'aménagement du territoire: Essai de synthèse, le rôle de l'eau et la problématique des zones inondables. Actes des Ateliers de l'Eau, organisés par les Facultés.
Agronomiques de Gembloux, (Dautrebande s. *et al.* Eds), CEBEDOC, 423-438.
- Mouvet, C., 1980. Pollution de l'Amblève par les métaux lourds, en particulier le chrome: dosage dans les eaux et les bryophytes aquatiques. Tribune du CEBEDEAU, 445(33), 527-538.
- MRW, 1994. Qualité biologique des eaux de surface 1986-1992. Ministère de la Région wallonne (MRW)- Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE),
Namur.
- MRW, 1995. Objectifs de qualité et zones sensibles. Carte publiée par le Ministère de la Région wallonne (MRW), Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGR-
NE), Division de l'Eau, Direction des Eaux de surface, Namur.
- Namèche, T. et Gérard, P., 1992. Aperçu de la valeur halieutique des lacs de Robertville et de Butgenbach. Station de Recherches forestières de la Région wallonne, Travaux Série D-N° 57,
20 p.
- Ovidio, M., Birtles, C., Baras, E. et Philippart, J.C., 1996. A preliminary telemetry investigation on the obstacles to anadromous salmonids migration in spawning streams of the Belgian
Ardenne (River Meuse Basin), pp. 83-88. *In*: Leclerc, M. *et al.* (eds), Proceedings of the second IAHR Symposium on Habitat Hydraulics, Ecohydraulics 2000, Québec (Canada), published
by INRS-Eau, Vol. A, 893 p.
- Parotte, V. 1991: Evolution géomorphologique actuelle d'une rivière en relation avec les modifications de son régime hydrologique. La Berwinne à proximité de Dalhem (Entre Vesdre et
Meuse), Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 84 p + annexes.
- Pauquet, A. 1992: Les inondations de l'Ourthe inférieure: Evolution de leur fréquence et de leur importance, Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 105 p. + annexes.
- Pauquet, A. et Petit, F., 1993: Evolution de la fréquence des inondations de l'Ourthe inférieure, Bull. Soc. belge Etudes Géogr., 62(2), 361-375.
- PEGASE 1989. Planification et Gestion de l'assainissement des eaux. Deuxième rapport d'avancement, mars 1989. Ministère de la Région wallonne, Univ. Liège, Univ. libre Bruxelles et
Facultés Univ. Notre -Dame de la Paix de Namur, 209 p.
- Petit, F., 1984. Les processus contrôlant l'évolution du tracé d'une rivière ardennaise. Z. Geomorphol. Suppl. Bd 49, 95-109.
- Petit, F., 1985. L'évolution de la charge en suspension d'une rivière ardennaise au cours de ses périodes de crues. Bull. Soc. Géogr. Liège, 21, 97-104.
- Petit, F., 1987. The relationship between shear stress and the shaping of the bed of a pebble-loaded river. La Rulles, Ardenne. Catena, 14, 453-468.

- Petit, F., 1987b. L'influence de la schistosité sur le tracé des méandres ancrés dans le bed-rock. Bull. Soc. belge Etudes Géogr., 56, 217-225.
- Petit, F., 1988. Phénomène influençant la mise en mouvement et le transport des particules en rivières naturelles. Z. Geomorphol., 32 (3), 299-310.
- Petit, F., 1990. Evaluation of grain shear stresses required to initiate movement of particles in natural rivers. Earth Surface Processes and Landforms, 15 (2), 135-148.
- Petit, F., 1992. L'influence des plantations de résineux en fond de vallée sur l'évolution géomorphologique de rivières de Haute-Belgique. Actes définitifs du Colloque international organisé par la Région wallonne "Impacts liés aux travaux d'aménagements sur les cours d'eau: évaluation, méthodologie, aide à la gestion", Namur, 341-352.
- Petit, F., 1994. Dimensionless critical shear stress evaluation from flume experiments using different gravel beds. Earth Surface Processes and Landforms, 19, 565-576.
- Petit, F., 1995. Régime hydrologique et dynamique fluviale des rivières ardennaises, *In*: L'Ardenne: Essai de Géographie Physique. Livre en hommage au Professeur Pissart, demoulin, a. (Ed.), 194-223.
- Petit, F. et Daxhelet, C., 1989. Détermination du débit à pleins bords et de sa récurrence dans différentes rivières de moyenne et Haute Belgique, Bull. Soc. Géogr. Liège, 25, 69-84.
- Petit, F., Pauquet, A. et Pissart, A., 1993. L'impact des aménagements récents des rivières wallonnes. Exemples de la Meuse, de l'Ourthe et du Geer. Actes du Colloque International: Le Fleuve et ses métamorphoses (Lyon), 315-323.
- Petit, F., Pauquet, A. et Pissart, A., 1996. Fréquence et importance du charriage dans des rivières à charge de fond graveleuse, Actes du Colloque "Crues, versants et lits fluviaux", Paris, Géomorphologie, 2, 3-12.
- Petit, F. et Pauquet, A., 1997. Bankfull discharge recurrence interval in gravel bed rivers, Earth Surface Processes and Landforms, 22, 685-693.
- Philippart, J.C., 1977. Contribution à l'étude de l'écosystème 'Rivière de la zone à barbeau supérieure': Densité, biomasse et production des populations de poissons dans l'Ourthe, pp. 551-567, *In*: Duvigneaud, P. et P. Kestemont (Ed.), Productivité biologique en Belgique, Duculot, Gembloux - Paris, 617 p.
- Philippart, J.C., 1977. Contribution à l'hydrobiologie de l'Ourthe. Dynamique des populations et production de quatre espèces de poissons cyprinidés: *Barbus barbus* (L.), *Chondrostoma nasus* (L.), *Leuciscus caphalus* (L.) et *Leuciscus leuciscus* (L.). Thèse de Doctorat en Sciences (zoologiques), Université de Liège, 225 p.
- Philippart, J.C., 1979a. Etude des populations de poissons dans trois ruisseaux oligotrophes du bassin de la Roer supérieure (Belgique). Bull. Soc. Roy. Sci. Liège, 48(5-8), 212-217.
- Philippart, J.C., 1979b. Introduction à l'étude des aspects écologiques et socio-économiques de la pêche sportive. Enquête sur la pêche récréative dans l'Ourthe à Hamoir. Bull. Soc. Géogr. Liège, 15, 229-250.
- Philippart, J.C., 1980. Aménagement des cours d'eau et problèmes piscicoles. Communication présentée à la Journée nationale d'Etude de la Société de Génie rural sur le thème "L'aménagement des cours d'eau", Bruxelles, 6 avril 1979. Rapport 1978-1979 du Groupe de contact FNRS en Sciences agronomiques, 1980, 124 p.
- Philippart, J.C., 1980. Essai d'évaluation des ressources ichtyologiques actuelles et potentielles dans le bassin de l'Ourthe (bassin de la Meuse) en Belgique, pp. 298-307. *In*: Grover J.H. (ed), Allocation of Fishery Resources. Proceedings of the Technical Consultation on Allocation of Fishery Resources, Vichy (France), 20-23 April 1980, FAO, Rome, 623 p.
- Philippart, J.C., 1985. Reverrons-nous des saumons dans la Meuse? Cahiers d'Ethologie Appliquée, 5(1), 31-68.
- Philippart, J.C., 1987. Histoire de l'extinction et problématique de la restauration des salmonidés migrateurs dans la Meuse, pp. 125-137. *In* M. THIBAUT et R. BILLARD (ed.). La restauration des rivières à saumons. Acte du Colloque Franco-Québécois tenu à Bergerac du 28 mai au 1^{er} juin 1985. Collection Hydrobiologie et Aquaculture, Publications INRA, Paris, 444 pages.
- Philippart, J.C., 1989. Ecologie des populations de poissons et caractéristiques physiques et chimiques des rivières dans le bassin de la Meuse belge. Bull. Soc. Géogr. Liège, 25: 175-198.
- Philippart, J.C., 1990. Conservation et restauration des habitats des poissons en rivière, pp. 671-690. *In* Actes du Colloque "Gérer la Nature", Trav. Cons. de la Nat., 15/2.
- Philippart, J.C., 1996. Contribution à l'étude piscicole des lacs de Robertville et de Butgenbach. Biologie de la reproduction et recrutement des coréogones. Rapport de recherche au Fonds piscicole du Ministère de la Région wallonne, LDPA-Université de Liège, 48 p.
- Philippart, J.C., 1997. Les Poissons de Wallonie et leurs habitats. Communication présentée (sur invitation) au Colloque 'Les Zones humides: Habitats, Flore et Faune' organisé les 13-14 mai 1996 à Harchies dans le Cadre de l'Année Mondiale des Zones Humides 1996 (Convention de Ramsar) (à paraître dans les comptes-rendus du Colloque).
- Philippart, J.C. et Vranken, M., 1983a. Protégeons nos Poissons. Collection Animaux menacés en Wallonie. Edition Région wallonne et Duculot Paris -Gembloux, 206 pages.
- Philippart, J.C. et Vranken, M., 1983b. Atlas des poissons de Wallonie. Distribution, Ecologie, Ethologie, Pêche, Conservation. Cahiers d'ethologie appliquée, 3 (suppl.1-2), 395 pages.
- Philippart, J.C., Gillet, A. et Micha, J.C., 1988. Fish and their environment in large European river ecosystems. The River Meuse. Sciences de l'Eau, 7 (1): 115-154.
- Philippart, J.C., Lambert, J.M. et Baras, E., 1989. Etudes en vue de la conservation, de l'amélioration et de la restauration des habitats utilisables par les poissons en rivière. Rapport final à la Région Wallonne (Conservation de la Nature). Vol. I, 74 p.; Vol. II, 87 p.; Vol. III, 86 p. Environnement et Progrès et Université de Liège.
- Philippart J.C., Micha, J.C., Baras, E., Prignon, C., Gillet, A. et Joris, S., 1994. The Belgian Project "Meuse Salmon 2000". First results, problems and future prospects. Water Science and Technology, 29(3), 315-317.
- Philippart, J.C., Baras, E. et Nindaba, J., 1994. Etudes des aspects hydrobiologiques et écologiques des dragages et des aménagements hydrauliques dans une rivière du type Ourthe. Rapport d'étude au MET-Région wallonne. Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Aquaculture de l'Université de Liège, 132 p. + annexes.

- Piroton, M., 1994. Modélisation des discontinuités en écoulement instationnaire à surface libre. Du ruissellement hydrologique en fine lame à la propagation d'ondes consécutives aux ruptures de barrages, LHCN, Univ. Liège, 479 p.
- Piroton, M., 1996. A Global Approach of the Unsteady Surface Flows Computations Including Shocks, by Finite Elements. "Numerical Methods in Engineering Simulation", M. Cerrolaza, C. Gajardo, C.A. Brebbia (Eds), Computational Mechanics Publications, Mérida, Venezuela, 45-52.
- Piroton, M., 1997. Une Approche Globale pour Modéliser la Genèse et la Propagation des Crues Naturelles ou Accidentelles, Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences, 182 p.
- Pissart, A. 1961. Les inondations dans la région de Verviers-Eupen. Etude préalable à un aménagement du territoire. Bull. Cebedeau, 123: 62-75.
- Poncelet, L. 1956. Le climat de la Belgique. Notice explicative détaillée des cartes I,II et III de l'Atlas de Belgique, Bruxelles, 42 p.
- Poncelet, L. et Martin, H. 1947. Esquisse climatologique de la Belgique. Institut Royal Météorologique, Mémoires, 27, 267 p.
- Probst, J.L., 1989. Hydroclimatic fluctuations of some European Rivers since 1800, in Historical change of large alluvial rivers: Western Europe, PETTS G.E (Ed.), Wiley, 41-55.
- Probst, J.L. et Tardy, Y., 1985. Fluctuations hydroclimatiques du bassin de l'Aquitaine au cours des 70 dernières années. Revue de Géol. Dynam. et Géogr. Phys., 26, 56-76.
- Roenen, A., Schiepers, N. et Gillet, A., 1995. Les travaux nécessaires à la libre circulation des poissons sur la Meuse et l'Ourthe. Communication à la Journée "Meuse Saumon 2000", Liège le 13 septembre 1995.
- SETRA, 1980. Pollution par sels de déneigement. Référence dans EEW.
- Smits, J.S. (Ed.), 1991. PEGASE. Planification et Gestion de l'Assainissement des Eaux. Rapport de synthèse. Ministère de la Région wallonne, ULg/ULB/FUNDPN, 83 + 101 p.
- Sporck, J., 1951. Etude du régime de la Gileppe d'après les relevés quotidiens effectués au barrage de 1880 à 1947, Ann. Soc. Géol. Belg., 75, 97-109.
- Suttor, M., 1989. Etude historique d'hydrologie fluviale. L'exemple de la Meuse. Bull. Soc. Géogr. Liège, 25, 159-174.
- Staner, P., 1975. Curage et rectification des rivières ardennaises. Parcs Nationaux, 30(1), 26-38.
- Symoens, J.J., 1957. Les eaux douces de l'Ardenne et des régions voisines: les milieux et leur végétation algale. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 89, 111-314.
- Targé, J.C., 1970. La plaine alluviale de l'Ourthe. Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 148 p.
- Timmermans, J.A., 1957. Estimation des populations piscicoles-Application aux eaux courantes rhéophiles. Travaux de la Station de Recherche des Eaux et Forêts de Groenendaal, Trav. Série D, 21, 96 p.
- Timmermans, J.A., 1960. Observations concernant les populations de truite commune (*Salmo trutta fario* L.) dans les eaux courantes. Travaux de la Station de Recherche des Eaux et Forêts de Groenendaal, Trav. Série D, N° 28, 36 p.
- Tricot, B., Perleau, G., Cartuyvels, J.F., Orban de Xivry, E., Rosillon, F. et Vander Borgh, P., 1996. Guide juridique relatif aux cours d'eau non navigables. Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Ministère de la Région Wallonne, Namur, 200 p.
- Tuffery, G. et Verneaux, J., 1967. Méthode zoologique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. Ann. Scient. Univ. Besançon Zool., 3, 73-90.
- U.R.P. 1981. Analyse socio-économique et écologique de la pêche sportive dans la province de Liège en 1979. Cahiers d'éthologie appliquée, 1 (suppl. 1): 102 pages.
- Vanden Bossche, J.P., 1994. Qualité biologique des eaux de surface 1986-1992. Ministère de la Région wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Division des Pollutions Industrielles, Namur.
- Vereestraeten, J., 1971. Le bassin de la Meuse: Etude de géographie hydrologique. Revue belge Géogr., 94, 339 p.
- Vernier, G., 1983. Rives et rivières. Des milieux fragiles à protéger. Fondation Roi Baudouin et Région Wallonne, 102 p.
- Vernier, G., 1987-1989. Aménagement écologique des berges des cours d'eau navigables: 1. La berge, interface terre-eau: ses caractéristiques, fonctions et utilisation; 2. Etude de cas: la Meuse, l'Ourthe et la haute Sambre; 3. Comparaison des techniques de protection des berges et recommandations. GIREA, Namur, 68 p.; 242 p.; 74 p.
- Vernier, G. et Silan, J.P., 1987. Aménagement écologique des cours d'eau navigables. La berge: interface terre-eau: ses caractéristiques, fonctions et utilisations. Rapport n° 1, Ed. GIREA, 68 p.
- Vernier, G., Wéry, B., Flamme, P., Wouters, J.P. et Micha, J.C., 1988. Recommandations provisoires pour la construction des nouveaux bassins d'orage routiers et l'adaptation des bassins existants. Annales des Travaux publics de Belgique, 5, 21-55.
- Wastiaux, C., 1990. Végétation et régime hydrologique d'une tourbière haute drainée: dégradation et régénération (Deux-Séries, Hautes Fagnes, Belgique). Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 83 p.
- Wavreille, B. 1987. Contribution à l'étude géomorphologique du Massif du Serpont. Mém. Lic. Sc. Géogr., Univ. Liège, 121 p.
- Wirsing, B. et Hoffmann, L., 1997. Des algues bleues toxiques en Belgique: mise en évidence de microcystines. Communication à la Cinquième Conférence Internationale des Limnologues d'Expression française (CILEF 5), Namur 7-11 juillet 1997, Résumés, p.108.
- Yali Misenga, 1990. Etude qualitative et quantitative de la charge de fond de l'Ourthe inférieure. Approches géomorphologiques et sédimentologiques, Mém. Maîtrise Géol. Terrains superficiels, Univ. Liège, 128 p.